



Ecole Supérieure d'Agricultures d'Angers
55 rue Rabelais
49007 ANGERS



Institut de l'Élevage
Sur Odon, Route Epinay
14310 Villers Bocage
Maître de stage : Eric POTTIER

ETUDE DE L'IMPACT DES DISPOSITIFS AGROFORESTIERS SUR LE POTENTIEL DE PRODUCTION PRINTANIER DES PRAIRIES EN REGIONS OUEST ET NORD DE FRANCE



Mémoire de fin d'études
Promotion 2011
30/09/2016

BERNE Thibault
Elève Ingénieur ESA
Patron de mémoire : PIVA Guillaume

RESUME DE L'AUTEUR

Face aux évolutions du climat, caractérisées par l'inertie du réchauffement climatique et l'augmentation du risque de sécheresse, la sécurisation des systèmes herbagers s'inscrit de plus en plus dans les objectifs prioritaires des éleveurs. Afin de répondre à ce nouvel enjeu, l'agroforesterie, qui associe les arbres aux cultures, est apparue comme une stratégie d'adaptation innovante justifiant de donner lieu à des travaux de recherche. Si on lui reconnaît divers intérêts économiques, socio-environnementaux et climatiques, peu d'études en revanche ont traité de ses effets sur les cultures. Ce mémoire consiste à apporter de nouvelles connaissances sur ces effets en prairies afin d'intégrer au mieux les systèmes agroforestiers dans les futures démarches de conseils.

L'objectif de l'étude était d'évaluer les impacts des arbres sur le potentiel de production printanier des prairies en prenant en compte les facteurs climatiques. Il y a été traité l'aspect quantitatif de ce potentiel par l'approche des rendements, et son aspect qualitatif par l'analyse de données botaniques. Des comparaisons ont été faites entre prairies disposant d'arbres intraparcels et prairies sans arbres, ainsi qu'en fonction de l'orientation Nord-Sud et de la distance à l'arbre des prélèvements, pour notamment approcher l'effet de l'ombre projetée par les arbres sur le couvert herbacé. Il a été installé, sur six exploitations situées en régions Ouest et Nord de France, des espaces de mesures en parcelle agroforestière et en prairie ouverte (sans arbres), à l'intérieur desquels les prélèvements de biomasses d'herbe et les analyses de la composition botanique ont été effectuées en début et en fin de printemps. Les dispositifs agroforestiers sont tous des prés-vergers adultes (>15 ans) en prairies permanentes.

Les principaux résultats ont montré que les rendements les plus faibles ont été rencontrés en zones ombragées et particulièrement au plus proche des arbres. Dans ces zones ont notamment été observées des graminées plus ou moins tolérantes à l'ombre (*Holcus lanatus*) et résistantes au piétinement (*Lolium perenne*). Leurs stades de développement ont également été repérés comme étant moins avancés sous les arbres par rapport aux zones plus éloignées. En fin de printemps dans l'ensemble, alors que ces espèces sont à phénologie précoce, leurs proportions de graminées aux stades végétatif et épiaison sont élevées.

A l'inverse, ce sont les zones ensoleillées, c'est à dire les plus éloignées des arbres en parcelle agroforestière et sur les prairies ouvertes, où les rendements se sont révélés les plus importants. Dans ces zones, il apparaît des espèces à la fois peu à très peu tolérantes à l'ombre, dont notamment les légumineuses (*Trifolium repens*), et peu résistantes au piétinement (*Agrostis capillaris*). Les stades de développement aux zones les plus éloignées des arbres, en parcelle agroforestière, sont plus avancés au stade épiaison-floraison. La majorité de ces stades en prairies ouvertes sont à l'épiaison. Dans le cas des prés-vergers de l'étude, l'effet de l'orientation Nord-Sud sur le potentiel de production n'est apparu que très rarement.

Les arbres ont un double effet sur les prairies par la modification des rendements et de la composition botanique. Bien que les résultats soient hétérogènes, des différenciations se dégagent de cette étude et justifient que soient menés de plus amples travaux et de les valoriser en les intégrant à la conception de systèmes agroforestiers adaptés au changement climatique dans la diversité des contextes pédoclimatiques.

AUTHOR SUMMARY

Responding to climate change, characterized by the inertia of global warming and the increased risk of drought, securing grassland systems fits more with the main objectives of the breeders. To deal with this new climate challenge, agroforestry, which combines crops and trees in the same lands, emerged as an innovative adaptation strategy needed to be lead by research. If agroforestry is recognized for its economics, social, environmental and climate values, few studies have worked on the effects of those systems on crops. The present work consists in providing new knowledge about these effects in meadows, in order to integrate agroforestry systems in any future proceedings advice in the best possible way.

The objective was to assess the impacts of trees on the potential of spring grassland production taking into account climatic factors, considering yields and botanical analysis. Comparisons were first made between pastures under agroforestry systems and open pastures (no trees) and then regard on the North-South direction and distance to the tree to approach the effect of the shadow on the grass cover. The study was carried out six farms in West and North regions of France where measurements were made on pastures under agroforestry systems and open pastures, in which grass biomass sampling and botanical composition analysis were performed. Sampling was conducted at the beginning and the end of spring. Agroforestry systems of this study are all adults traditional orchards (> 15 years) into permanent pasture.

The main results showed that the lowest yields were observed in shaded areas and particularly to the nearest tree.zone In these areas in particular have been determined grasses more or less shade tolerant (*Holcus lanatus*) and resistant to trampling (*Lolium perenne*). Their stages of development were also identified as being less advanced under the trees compare to others areas of measurements. In late spring, while these species have an early phenology, their proportions of vegetative stages and heading were higher.

Conversely, the sunniest areas which are the most remote areas from trees in agroforestry system and open pastures, showed better yields. In these areas, it was observed both species little and very little shade-tolerant, including legumes (*Trifolium repens*), and little resistant to trampling (*Agrostis capillaris*). The stages of development to the most remote areas of trees in were this time more advanced to heading-flowering stage. The majority of these stages in open grasslands are heading. In this case of traditional orchards, the effect of the North-South orientation on the potential production only rarely appeared.

Trees have a dual effect on pastures by changing the yield and botanical composition. Although results differed, several trends emerge from this study and should lead to further work for full power value, including them in the design of agroforestry systems adapted to climate change in the diversity of soil and climatic contexts.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier l'Institut de l'Elevage et spécifiquement M. POTTIER et le personnel du site de Villers Bocage pour leur accueil au cours de ces six mois de stage. Je ne citerai pas tous les noms mais merci à toutes ces personnes qui ont fait que les moments passés au sein du groupe ont été très agréables. Je veux aussi remercier les personnes qui participent aux projets dont fait partie l'étude, accompagnateurs et autres stagiaires, avec qui j'ai pu de façon enrichissante et constructive.

Je tiens ensuite tout particulièrement à remercier les six agriculteurs (M. OZIEBLO, M. PLET, M. DEROUAULT, M. LEROYER, M. PACORY et M. LEDUC) qui ont permis de réaliser cette étude et qui ont toujours été présents à chacune de mes sollicitations. Leur aide et leur intérêt pour les travaux réalisés m'ont véritablement été utiles.

Enfin, je remercie à Mme REVEILLEIRE et M. CANNAVACCIULO de l'Ecole Supérieure d'Agricultures pour leurs disponibilités et leurs conseils statistiques précieux, ainsi que M. PIVA pour son implication et son soutien.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	8
PARTIE A : PLACE DE L'ETUDE DANS LES DIVERS PROJETS	9
a) Présentation de l'Institut de l'Elevage	9
b) Présentation des projets	10
B-1 : PARASOL.....	10
B-2 : ARBELE.....	11
B-3 : AGFORWARD	12
PARTIE B : CONTEXTE DE L'ETUDE	13
a) Les prairies face au nouvel enjeu climatique.....	13
A-1 : PLACE DES PRAIRIES EN EUROPE ET EN FRANCE	13
o Importance des productions herbagères dans les élevages herbivores	13
o Evolution des surfaces	14
o Support de services environnementaux.....	15
A-2 : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACTS SUR LA PRODUCTION HERBAGERE.....	15
o Perspective d'une nouvelle dynamique de production	15
o Risques de sécheresses accrus	16
A-3 : ADAPTATION DES SYSTEMES FOURRAGERS	17
o Stratégies et limites.....	17
o Intérêts des surfaces prairiales.....	18
b) Développer une stratégie innovante d'adaptation : l'agroforesterie	18
B-1 : HISTOIRE ET REVUE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS	18
o Définition de l'agroforesterie.....	18
o Un système ancestral.....	19
o Systèmes agroforestiers d'Europe et de France	19
B-2 : INTERETS DES PRATIQUES AGROFORESTIERES.....	20
o Intérêts économiques	20
o Intérêts environnementaux.....	22
PARTIE C : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	22
a) Les prairies et l'écosystème prairial	22
A-1 : VALEUR D'USAGE AGRICOLE DES PRAIRIES	22
A-2 : EVOLUTION DU POTENTIEL DE PRODUCTION	24
A-3 : FACTEURS DE VARIATION.....	25
o Facteurs pédoclimatiques	25
o Effet de l'exploitation de l'herbe par le pâturage	25
o Effet de la fertilisation.....	26
o Effet du type de prairie	26
b) Les modifications de l'écosystème prairial par la présence des arbres.....	28
B-1 : DE NOUVELLES RELATIONS INTERSPECIFIQUES.....	28
B-2 : MICROCLIMAT ET MODIFICATIONS DES CARACTERISTIQUES DU SOL.....	29
o Moins de lumière disponible pour l'herbe	29
o Modification dans la disponibilité de la ressource en eau (figure 13)	30
o Modération de l'amplitude thermique.....	31
o Modification des propriétés du sol (figure 16)	32
c) Impacts des arbres sur les prairies en systèmes sylvopastoraux	33
C-1 : DIMINUTION GLOBALE DES RENDEMENTS	33
C-2 : UNE VALEUR ALIMENTAIRE REDEFINIE.....	35
o Ralentissement du cycle de développement	35

o	Modification de la composition botanique (tableau 6)	35
o	Modification de la valeur nutritive	36
	PARTIE D : PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	38
	PARTIE E : MATERIELS ET METHODES	39
a)	Les sites (exploitations) de l'étude	39
A-1 :	CHOIX DES SITES ET LOCALISATION	39
A-2 :	CONTEXTE CLIMATIQUE	40
A-3 :	DISPOSITIFS AGROFORESTIERS RENCONTRES	41
b)	Périodes de l'étude et mesures effectuées	41
c)	Dispositif expérimental.....	42
d)	Opérations menées	44
D-1 :	MESURES DE BIOMASSE.....	44
D-2 :	ANALYSE DE LA VEGETATION DU COUVERT PRAIRIAL	46
D-3 :	MESURES DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE	47
e)	Traitement statistique	48
	PARTIE F : RESULTATS	48
a)	Influence des systèmes agroforestiers sur le climat du printemps	48
b)	Impacts des systèmes agroforestiers sur la production printanière des prairies	49
B-1 :	DEBUT DE PRINTEMPS (P1).....	49
o	ANOVA n°1 sur les rendements	49
o	ANOVA n°1 sur les densités de l'herbe	50
o	ANOVA n°2 sur les rendements	51
o	ANOVA n°2 sur les densités de l'herbe	51
B-2 :	FIN DE PRINTEMPS (P2).....	52
o	ANOVA n°1 sur les rendements	52
o	ANOVA n°2 sur les rendements	53
c)	Impacts des systèmes agroforestiers sur la végétation prairiale.....	54
C-1 :	ESPECES PRAIRIALES DOMINANTES.....	54
C-2 :	INCIDENCES SUR LES FAMILLES DES ESPECES DOMINANTES.....	56
o	ANOVA n°1 sur les familles d'espèces	56
o	ANOVA n°2 sur les familles d'espèces	57
C-3 :	IMPACTS SUR LES TYPES FONCTIONNELS DE GRAMINEES	58
o	ANOVA n°1 sur les types fonctionnels de graminées	58
o	ANOVA n°2 sur les types fonctionnels de graminées	59
C-4 :	IMPACTS SUR LES STADES PHENOLOGIQUES	59
o	ANOVA n°1 sur les stades de développement des graminées	60
o	ANOVA n°2 sur les stades de développement des graminées	61
	PARTIE G : DISCUSSION	62
a)	Effet microclimatique	62
b)	Impacts sur la production printanière	62
c)	Caractéristiques de la végétation	63
	PARTIE H : LIMITES ET PERSPECTIVES	65
	CONCLUSION	66
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	68
	TABLE DES FIGURES.....	73
	TABLE DES TABLEAUX.....	74
	ANNEXES.....	75

SIGLES ET ABREVIATIONS

MS : Matière sèche

EA : Exploitation Agricole

PP : Prairie Permanente

SAU : Surface Agricole Utilisée

t: tonne

ha : hectare

PAC : Politique Agricole Commune

CC : Changement Climatique

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GES : Gaz à effet de serre

SA : Systèmes Agroforestiers

LER : Land Equivalent Ratio

SAFE : Silvoarable Agroforestry For Europe

Kg : kilogramme

j: jour

VA : Valeur Alimentaire

TF : Type Fonctionnel

cm: centimètre

AF : Parcelle agroforestière

T : Parcelle témoin

m: mètre

SNK : Student NewaNn Keuls test

TE : zone de mesures témoin

G : Graminées

L : Légumineuses

D : Diverses

SDG : Stade de Développement des Graminées

°Cj : Degrés-jours

INTRODUCTION

Dans les années 1950, les objectifs d'alimentation des populations et les nouvelles opportunités permises par le développement de la mécanisation ont conduit à l'intensification des pratiques. Les conséquences pour les prairies ont été une diminution importante de leurs surfaces dans la part des surfaces fourragères.

Depuis, la massive prise de conscience de l'intérêt environnemental et du rôle à jouer de l'agriculture a remis les prairies au centre des réflexions pour concilier production et préservation de l'environnement. Aujourd'hui en revanche, le nouvel enjeu climatique, qui s'inscrit dans un contexte économique déjà difficile, devient un facteur de risques pour le maintien des surfaces prairiales.

L'inertie du réchauffement climatique accompagnée par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, annoncées par le groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), peut conduire les éleveurs à des stratégies pénalisantes pour ces surfaces aux profits d'autres cultures considérées plus rentables comme le maïs fourrage notamment.

Ces stratégies alternatives n'ont cependant pas les attraits des prairies et de leurs services environnementaux. Il convient alors de réfléchir à des systèmes prairiaux résilients aux évolutions du climat pour garantir le maintien de ces services et la première source alimentaires des troupeaux herbivores, à savoir l'herbe, en répondant aux exigences économiques, sociales et environnementales.

A ces fins, l'agroforesterie qui associe les arbres aux cultures apparaît depuis peu comme une solution durable, par l'optimisation de l'utilisation des ressources biotiques et abiotiques qui peut en être retirée dans le cas de bonnes gestions et de conseils. L'Institut de l'Élevage (Idele), en tant qu'organisme de recherche et de développement au service de l'élevage et des filières herbivores, s'implique depuis une dizaine d'années dans divers projets agroforestiers dans le but de participer à la définition de systèmes viables économiquement et respectueux de l'Homme et de son environnement.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage au sein de l'Idele, avec la volonté d'apporter des connaissances sur la réponse des prairies à la présence des arbres dans le contexte agroforestier français. Il y sera traité des aspects productifs et qualitatifs des prairies sous couverts arborés pour en approcher les potentiels de production. Notre étude cible en particulier ces deux caractéristiques pour la période printanière, mais elle fait partie de projets plus vastes qui intègrent d'autres dimensions telles que le bien-être animal ou encore la modélisation des arbres agroforestiers. Ces projets vous sont présentés dans ce mémoire.

PARTIE A : PLACE DE L'ETUDE DANS LES DIVERS PROJETS

a) Présentation de l'Institut de l'Elevage

Issu de la fusion de l'ITEB (institut technique de l'élevage bovin) et de l'ITOVIC (institut technique de l'élevage ovin et caprin) en 1991, l'Institut de l'Elevage (Idele) est un organisme de recherche-développement au service de l'élevage et des filières herbivores (bovins, ovins, caprins, équins) implanté en France (figure 1).

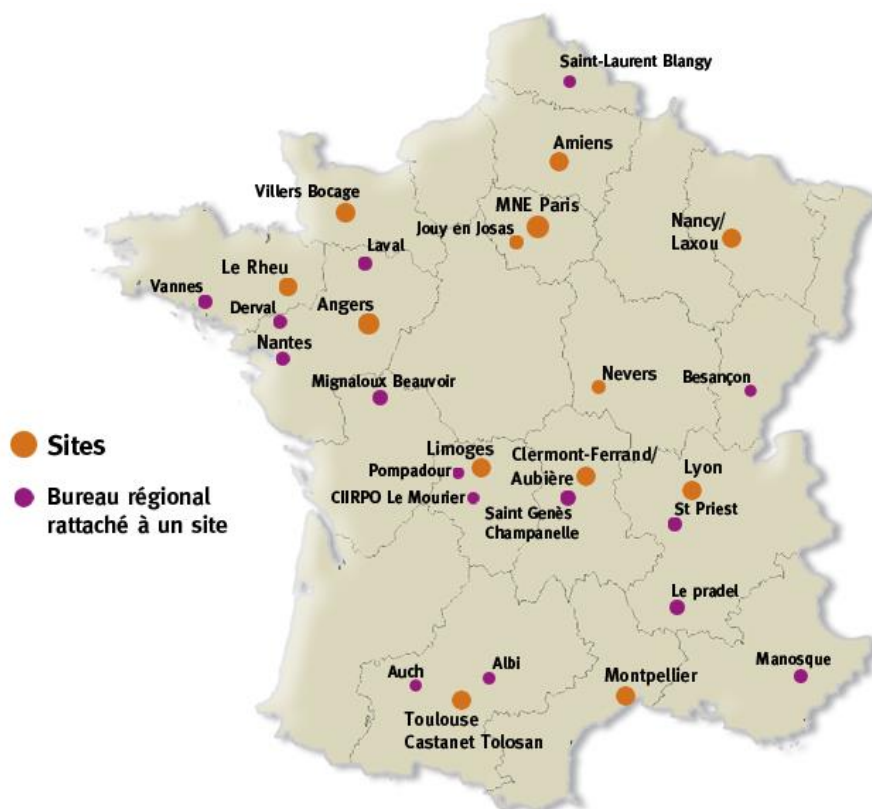


Figure 1: Implantation régionale de l'Institut de l'Elevage

Situé à la convergence de la recherche appliquée (13 unités expérimentales) et du conseil, ses travaux d'études et ses actions de formation visent à apporter des solutions techniques aux éleveurs, techniciens, enseignants agricoles et acteurs économiques des filières. Dans cet optique l'entreprise poursuit plusieurs objectifs autour de plus de trente thématiques : améliorer la compétitivité des exploitations et les conditions d'exercice du métier d'éleveur dans un contexte changeant afin d'optimiser les systèmes (fourniture d'éléments technico-économiques de maîtrise de l'élevage, de leviers d'actions sur les coûts de production et de solutions de simplification du travail), répondre aux demandes des filières sur la transformation des produits et les démarches qualité du producteur au consommateur, adapter la production et les systèmes d'élevage aux besoins et attentes de la société, apporter des éléments de réflexion aux organisations professionnelles par des analyses et des réflexions aux réglementations et des études d'impact.

L'Idele dispose de quatre sources de financements. Une moitié est issue du secteur public avec les projets CASDAR (financement géré par le Ministère de l'agriculture à partir d'une taxe prélevée aux agriculteurs), puis l'autre moitié est partagée de manière égale entre les financements des interprofessions de la filière élevage de ruminants (Interbev, Cniel, Confédération nationale de l'élevage de ruminants, France génétique élevage), les autres financements publics (DGAI, UMT, ADEME, financements régionaux et européens, etc.) et les financements privés.

Parmi les cinq départements techniques de l'Institut, celui des techniques d'élevage et de l'environnement s'est penché sur la question des systèmes agroforestiers, avec notamment le service fourrages et pastoralisme qui lui est associé. Les fonctions de ce département sont multiples par sa volonté :

- de fournir des solutions zootechniques en production de lait et de viande (alimentation, reproduction, logement, équipements),
- d'améliorer l'autonomie fourragère et l'efficacité alimentaire des exploitations,
- d'intégrer la variabilité climatique et la volatilité des marchés dans les réponses
- de mettre au point des techniques d'élevage combinant production et environnement.

C'est ainsi que l'Idele se retrouve aujourd'hui impliqué dans trois projets majeurs en lien avec l'agroforesterie et ses impacts sur le système d'élevage ; Parasol (ADEME), ARBELE (CASDAR) et AgForward (Europe).

b) Présentation des projets

B-1 : PARASOL

L'étude de l'impact du microclimat agroforestier adulte en systèmes d'élevages ruminants, dont l'acronyme est Parasol, répond à l'appel à projets R&D REACCTIF 2 (Recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt). Cette étude de 36 mois a pour objectifs d'étudier et de quantifier l'impact de systèmes agroforestiers adultes sur la production de bois et de fourrage et sur la production animale (ovins), dans les problématiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Six tâches pour ce projet ont été définies (figure 2).

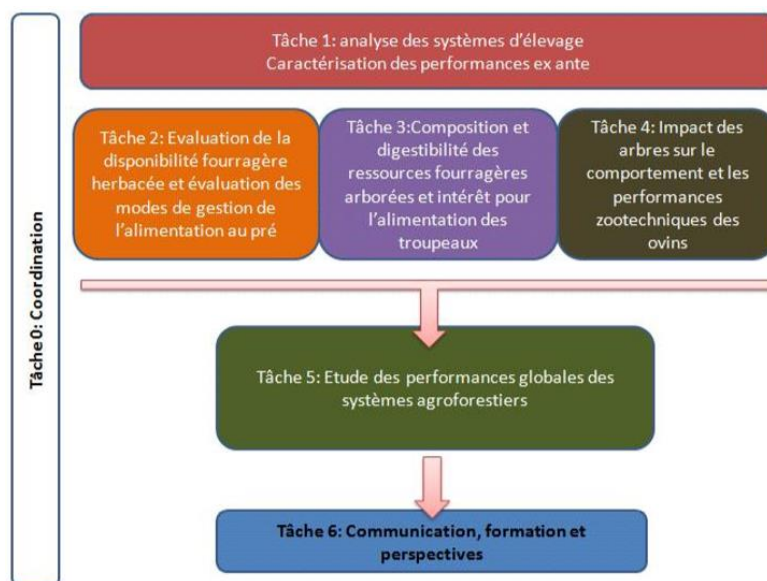


Figure 2: Organigramme du projet PARASOL (Source : AGROOF, 2016a)

Les partenaires du projet sont AGROOF, Lasalle Beauvais, l'Idèle et l'INRA Lusignan. L'Idèle est coordinateur de la tâche 2 dans laquelle s'inscrit le présent rapport.

B-2 : ARBELE

Le projet ARBELE (Arbre dans les exploitations d'élevage) est un projet CASDAR lancé en 2014 pour une durée de 3 ans dans la volonté de sécuriser les systèmes fourragers (diversification des ressources, diminution de l'exposition au risque de sécheresse). Ses objectifs sont de développer un argumentaire étayé sur les atouts et les limites de l'arbre dans les exploitations d'élevage, d'informer de la faisabilité des systèmes agroforestiers en élevage en répondant aux attentes technico-économiques des éleveurs et aux enjeux environnementaux, d'étudier la diversité des pratiques agroforestières en élevage, d'évaluer leur pertinence, de développer des références et des méthodes d'accompagnement à leur mise en place, et proposer des pistes d'adaptation réglementaire.

Le projet accueille de nombreux partenaires dont l'Idèle et se partage en 4 actions (figure 3). Notre étude fait partie de l'action 2 en co-pilotage avec AGROOF.

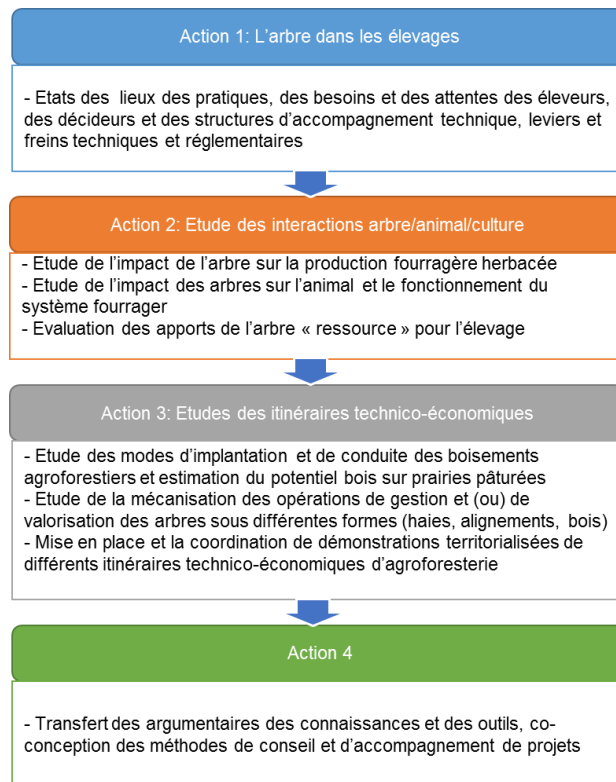


Figure 3: Organigramme du projet ARBELE (Source : AGROOF, 2016b)

B-3 : AGFORWARD

AgForward est un projet de recherche européen sur 3 ans (2014-2017) autour de 4 objectifs ;

- comprendre le contexte agroforestier européen,
- améliorer les bénéfices et la viabilité des pratiques agroforestières au travers d'expérimentations en champs,
- évaluer les systèmes innovants et les pratiques appliquées à différentes échelles,
- promouvoir des systèmes agroforestiers appropriés en Europe par la diffusion et l'élaboration de réglementations.

Pour répondre à ces objectifs, 10 volets ont été définis (figure 4) et répartis aux 23 partenaires du projet. L'Idéle intervient dans plusieurs de ces volets au sein du réseau des instituts des filières animales et végétales (ACTA). Notre étude fait partie du 5^{ème} volet.

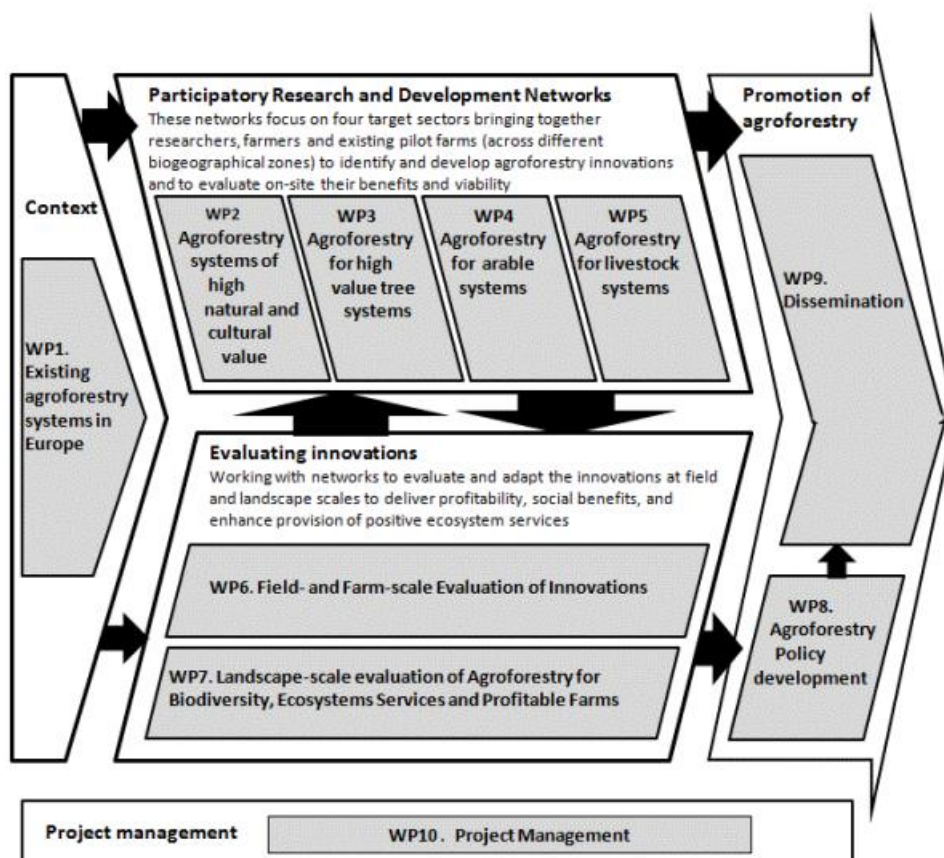


Figure 4: Les différents volets du projet AgForward et leurs relations (Source : AGROOF, 2016c)

PARTIE B : CONTEXTE DE L'ETUDE

a) Les prairies face au nouvel enjeu climatique

A-1 : PLACE DES PRAIRIES EN EUROPE ET EN FRANCE

- Importance des productions herbagères dans les élevages herbivores

L'élevage herbivore est présent dans plus d'un tiers des exploitations agricoles (EA) de France métropolitaine (Agreste, 2010). Il est majoritairement constitué des troupeaux de bovins, d'ovins et de caprins avec respectivement 19,3, 7,2 et 1,3 millions de têtes (Agreste, 2015a). Le poids des produits de l'élevage dans l'élaboration de la marge brute des exploitations (Hentgen, 1990) selon leurs orientations (lait, viande, bovin, ovin, etc.) en fait un secteur essentiel de l'économie agricole du pays (Huyghe, 2009). A l'échelle européenne, la valeur de la production de lait et de viande représente le quart de l'ensemble des productions agricoles du continent (Pflimlin, 2013).

L'herbe est la principale ressource fourragère dans l'alimentation des troupeaux herbivores de France et d'Europe devant les fourrages annuels (Plantureux et al., 2012 ; Pottier et al., 2012 ; Pflimlin, 2013). Les prairies représentent plus de la moitié de l'ensemble de la matière sèche (MS) disponible chaque année (Agreste, 2015b). L'exploitation des prairies françaises se fait principalement par le pâturage (56%) et fait souvent office d'un usage

mixte avec la fauche (36%). Seul 8% d'entre elles sont uniquement fauchées (Agreste, 2000 in Plantureux et al., 2012).

Quatre types de prairies se distinguent ; les prairies artificielles, les prairies semées, les prairies permanentes, et les parcours, estives et alpages (tableau 1). En 2013, la part des surfaces prairiales occupe 44,9% de la surface agricole utilisée (SAU) de la métropole soit 13,1 millions d'hectares. Les prairies permanentes (PP) sont nettement majoritaires et couvrent 33,6% de cette SAU (Puydarrieux et Devaux, 2013).

Tableau 1: Les grands types de prairies. (Source : d'après Huyghe et al., 2005 in Puydarrieux et Devaux, 2013)

Catégorie	Type de prairies		Durée d'ensemencement	Nature de l'ensemencement	Espèces
Prairies non permanentes	Prairies artificielles		0 à 5 ans	Exclusivement légumineuses fourragères	Luzerne, trèfle violet, sainfoin, minette, lotier
	Prairies temporaires		0 à 5 ans	Graminées fourragères pures ou mélangées à des légumineuses	
Prairies permanentes ou surfaces toujours en herbe (STH)	Prairies semées		6 à 10 ans	Plantes fourragères herbacées vivaces en général nombreuses et diversifiées	
	Prairies naturelles non semées	Productives (production \geq 1 500 unités fourragères ²)	6 ans ou plus		
		Non productives (parcours et landes, alpages, estives) (production < 1 500 unités fourragères)	6 ans ou plus		

En France, la production herbagère moyenne des prairies permanentes avoisine les 6 t/ha (5,6 t/ha en 2013 et 6,3 t/ha en 2014) pour une production récoltée d'environ 40 millions de tonnes. La production des prairies temporaires avoisine quant à elle les 8 t/ha (7,5 t/ha en 2013 et 8,8 t/ha en 2014) pour une production récoltée d'environ 25 millions de tonnes (Agreste, 2016).

- Evolution des surfaces

Les 50 dernières années ont montré une nette diminution de la part des prairies dans les surfaces agricoles de France et d'Europe (Pottier et al., 2012 ; Faïq et al., 2013 ; Pflimlin, 2013). La Révolution fourragère qui fait suite à la Seconde guerre mondiale marque une période d'intensification des pratiques afin de répondre à une demande croissante des populations. Les cultures comme le maïs ensilage et les prairies temporaires se développent alors que les prairies permanentes perdent de leurs surfaces.

Ainsi, l'ensemble des pays fondateurs de la politique agricole commune (PAC) a vu se réduire de 30% ses surfaces prairiales en 50 ans (Pflimlin, 2013). En France métropolitaine ce sont les grandes régions herbagères de l'Ouest (Basse-Normandie, Pays de la Loire) qui ont été le plus touchées (Agreste, 2012 in Pflimlin, 2013 ; Faïq et al., 2013).

- Support de services environnementaux

Outre leur rôle dans l'alimentation animale, les prairies contribuent également à la préservation de l'environnement grâce aux nombreux bénéfices environnementaux qu'elles génèrent. Ces derniers sont issus de services qualifiés d'écosystémiques et notamment de régulation et de soutien des écosystèmes telles que la séquestration carbone, la régulation du climat, la stabilisation des sols, la régulation de la qualité des eaux, le maintien de la biodiversité ouverte et patrimoniale, etc. (Huyghe, 2009 ; Mauchamp et al., 2012 ; Rossi et al., 2014).

Cette notion de services écosystémiques est relativement récente (1970) et a pris une place importante dans les politiques internationales depuis la publication du Millenium Ecosystem Assessment en 2005. Elle concerne à la fois les services de production et de protection de l'environnement et les services culturels (Mauchamp et al., 2012 ; Rossi et al., 2014). Les prairies sont ainsi au cœur d'enjeux agricoles et socio-environnementaux (Pottier et al., 2012).

A-2 : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACTS SUR LA PRODUCTION HERBAGERE

Le changement climatique (CC) est défini par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) comme une variation de l'état du climat qui s'opère généralement pendant des décennies ou plus. Le 5ème Rapport d'évaluation du GIEC publié en 2013 fait part notamment de l'inertie du réchauffement climatique (GIEC, 2013) et amène de nombreux acteurs du milieu agricole à se pencher sur les aspects d'atténuation et d'adaptation de l'agriculture au CC. L'atténuation vise principalement à la réduction des gaz à effets de serre (GES) alors que l'adaptation cherche à faire face à des situations de vulnérabilité et à profiter d'éventuelles opportunités soulevées par le CC. Depuis les années 2000, le CC est au centre des préoccupations des éleveurs tant il menace l'autonomie fourragère (Lemaire et Pflimlin, 2007) et les troupeaux (Morand-Fehr et Doreau, 2001).

- Perspective d'une nouvelle dynamique de production

Une nouvelle dynamique annuelle de production des prairies est attendue avec l'inertie du réchauffement climatique (figure 5). Les travaux sur l'impact du CC en agriculture (ACTA CC, Climator) à partir d'adaptation de modèle comme STICS s'accordent à dire que les rendements prairiaux devraient augmenter dans un futur proche (2020-2049) avec de nouvelles opportunités d'exploitations en début printemps et en hiver, et ce malgré une accentuation du creux estival (Moreau et al., 2008 ; Durand et al., 2010). Les prévisions pour le futur lointain (2070-2099) discordent néanmoins. A la différence des résultats du projet Climator, ceux d'ACTA soutiennent une perte conséquente des rendements dans la plupart des régions en raison du déficit estival. La durée de pâturage pourrait alors diminuer. Un tel scénario nécessiterait un affouragement en été et une diminution du chargement animal actuel (Moreau et al., 2008).

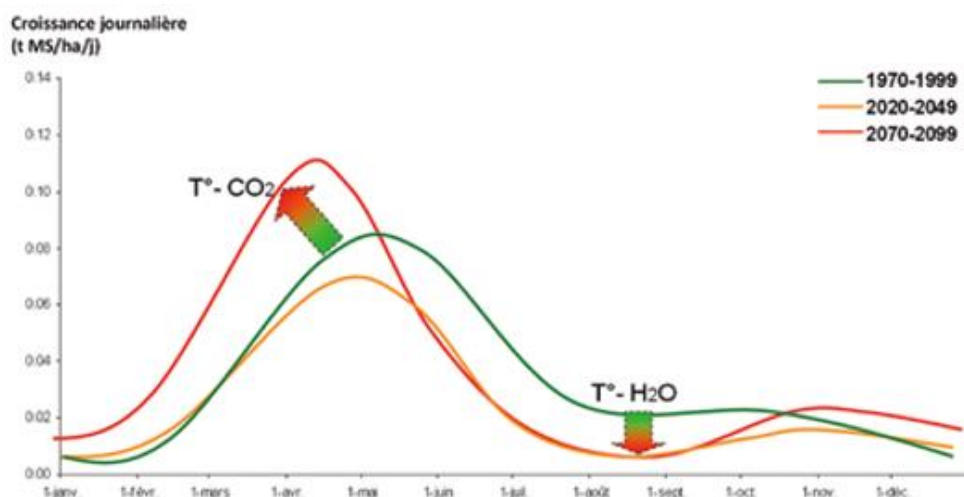


Figure 5: Evolution annuelle de la production journalière au court de l'année prédite par le projet CLIMATOR – Exemple de la fétuque. (Source : Durand et al., 2010)

- Risques de sécheresses accrus

Les estimations du GIEC annoncent un risque d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses (figure 6) suite à l'inertie du réchauffement climatique (GIEC, 2013). Or les systèmes prairiaux sont les plus touchés du fait de leur forte dépendance au climat (Lemaire et Pflimlin, 2007 ; Plantureux et al., 2012 ; Noury et al., 2013). La production nationale d'herbe a déjà été impactée à plusieurs reprises (1976, 2003, 2011 pour ne citer que les plus fulgurantes) (Lemaire et Pflimlin, 2007). En 2011 par exemple, les déficits herbagers ont été estimés à 18% de la production nationale, allant jusqu'à 30% dans certaines régions comme les Pays de la Loire et la région Poitou Charentes (Désarménien et al., 2013, figure 7).

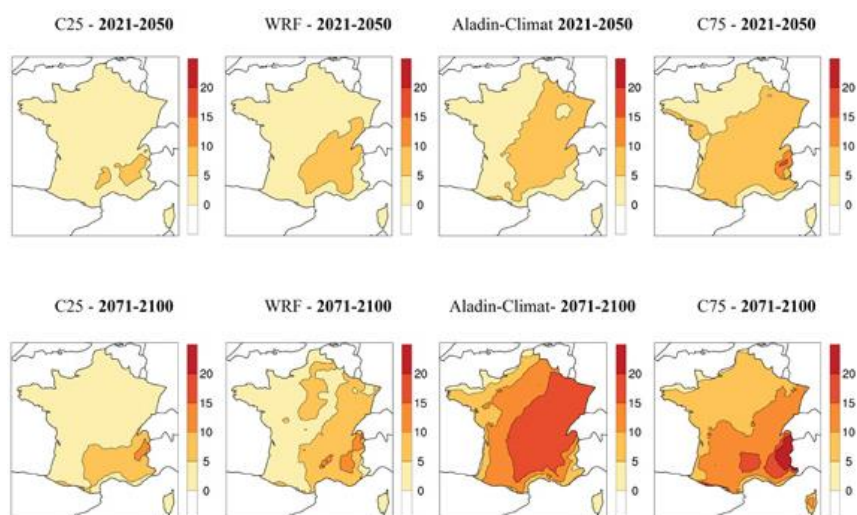


Figure 6: Ecart à la référence 1976-2005 du nombre de jours de chaleur aux horizons 2021-2050 et 2071-2100 entre différents scénarios envisagés (Source : MEDDE in Météo France, 2016)

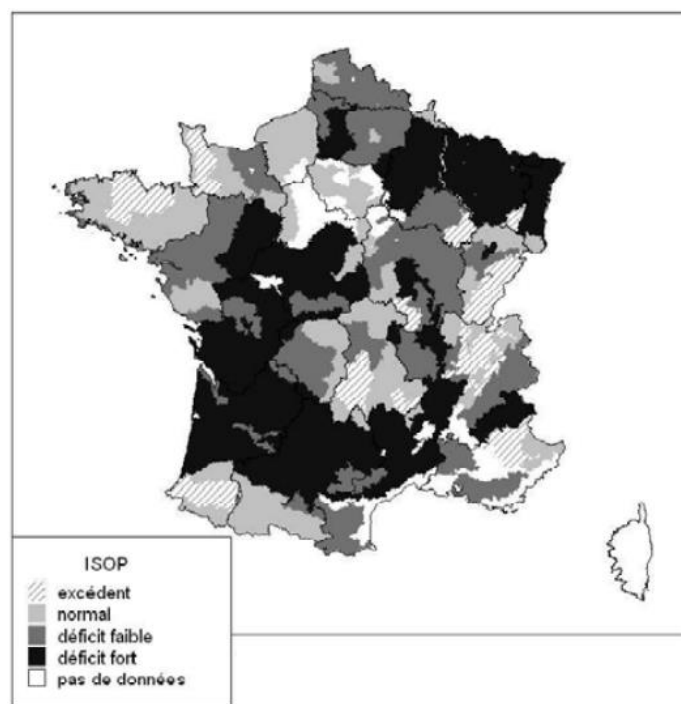


Figure 7: Indicateur du rendement des prairies permanentes au 20 mai 2011 (Source : Agreste-ISOP-Météo France-INRA in Désarménien et al., 2013)

A-3 : ADAPTATION DES SYSTEMES FOURRAGERS

Face au nouvel enjeu climatique les éleveurs cherchent à sécuriser leurs systèmes fourragers afin d'assouvir les besoins alimentaires des troupeaux et maintenir les performances économiques de leurs exploitations (Lemaire et Pflimlin, 2007).

○ Stratégies et limites

Il existe différentes stratégies d'adaptation face au changement climatique (Noury et al., 2013). Certaines peuvent demander des efforts financiers durant les années sèches (gestion de crise) par l'achat de compléments fourragers, de concentrés, etc. D'autres font appel à l'intensification¹ des pratiques (Noury et al., 2013). Compte tenu du contexte général (augmentation du prix des intrants et du foncier, fin des quotas laitiers, etc.) cette issue est fortement envisageable et risque de menacer à nouveau les surfaces prairiales (Rossi et al., 2014).

Pourtant, les modèles intensifs ont rendu les systèmes d'élevage de plus en plus vulnérables au risque de sécheresse (Pflimlin et al., 1997 in Lemaire et Pflimlin, 2007) et peuvent présenter plusieurs contraintes économiques, environnementales et climatiques. Le maïs ensilage par exemple, symbole de l'intensification fourragère des dernières années, a un coût de production élevé (Grasset, 1997 in Lemaire et Pflimlin, 2007), des restrictions sur la ressource en eau pouvant nuire à ses rendements en période sèches (Lemaire et Pflimlin,

¹ L'agriculture intensive est qualifiée comme une agriculture qui cherche à augmenter les rendements par unité de travailleur, mais aussi à l'hectare et les rendements zootechniques. On l'oppose à l'agriculture extensive qui cherche à compenser les prélèvements non maximisés par hectare en augmentant les surfaces (Pervanchon et Blouet, 2002).

2007), et des impacts environnementaux négatifs par l'usage d'insecticides et d'herbicides qu'elle demande (Le Gall et al., 1997 in Lemaire et Pflimlin, 2007). Quant à la culture de blé dont l'augmentation dans l'assolement est envisageable, à des fins d'autonomie alimentaire voire d'avantages économiques sur le marché (Rossi et al., 2014), ses rendements stagnent depuis les années 1990 en partie à cause du réchauffement et des risques d'échaudage physiologique en hausse (Brisson et Levraut, 2010).

- Intérêts des surfaces prairiales

Hormis leurs intérêts environnementaux, alimentaires et économiques (réduction des coûts de production), les prairies peuvent jouer un rôle essentiel dans la flexibilité des systèmes fourragers face aux aléas climatiques (Lemaire et Pflimlin, 2007 ; Duru et al., 2009 ; Plantureux et al., 2012).

En effet, grâce aux nouvelles dynamiques de production, les périodes de pâturage sur ces parcelles peuvent être allongées de plusieurs semaines en été et en hiver et ainsi entraîner l'augmentation de la part d'herbe pâturée dans l'alimentation (O'Donovan et al., 2004 in Lemaire et Pflimlin, 2007 ; Laissus, 1980 in Plantureux et al., 2012 ; Pottier et al., 2001). Cette stratégie a comme avantages de faire des économies de stockage et de concentrés sans dégrader les performances animales (Pottier et al., 2001). De plus, selon Huyghe (2009) la conciliation de la production et de la préservation de l'environnement dans le cas des prairies n'implique pas nécessairement une baisse des performances économiques des prairies puisque la diminution de la consommation énergétique sur l'exploitation serait accompagnée d'une réduction des intrants, notamment de la fertilisation azotée.

b) Développer une stratégie innovante d'adaptation : l'agroforesterie

Dans ce contexte climatique il est important de se pencher sur la question de la pérennité et la durabilité des adaptations possibles, leur faisabilité et leur efficacité dans des cadres réglementaires variés, leur viabilité technico-économique au long terme, leurs impacts environnementaux, l'évolution des espaces occupés par l'élevage dans l'aménagement du territoire et bien sûr, l'accompagnement des agriculteurs (Noury et al., 2013).

B-1 : HISTOIRE ET REVUE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS

- Définition de l'agroforesterie

D'après le Centre Mondial d'Agroforesterie (CMA) l'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques, qui intègre des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural, et permet ainsi de diversifier et maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre.

Par l'association des arbres à des cultures/animaux, ce système cherche à optimiser les relations qui s'opèrent entre chaque composante afin d'utiliser au mieux les ressources disponibles (Nair, 1982 in Farrell et Altieri, 1995). En ce sens, l'agroforesterie est considérée comme un système agroécologique de production, adapté aux enjeux environnementaux et devant faire l'objet de recherches approfondies tel qu'il est recommandé dans le rapport Agroécologique de l'INRA pour la période 2010-2020 (Guillou, 2013).

- Un système ancestral

Le terme d'agroforesterie est relativement nouveau et désigne pourtant une pratique très ancienne remontant à plusieurs millénaires (Nair, 1993 in Den-Herder et al., 2015 ; Farrell et Altieri, 1995).

La gestion simultanée des arbres et des animaux sur la même parcelle (photo 1) a commencé à se propager rapidement dans toute l'Europe (Pinhasi et al., 2005, Bergmeier et al. 2010 in Mosquera-Losada et al., 2012) et en France (Thiébaud, 2005 in Mosquera-Losada et al., 2012) à partir du néolithique. Pendant cette période, la production de produits agricoles est souvent basée sur des terres boisées. Plus tard, à l'époque romaine, la présence de l'élevage sous oliviers (*Olea europaea* L.) et orangers (*Citrus sinensis* L.) était une pratique commune. Des passages de la Bible font aussi références aux cultures intercalées sous des rangées d'oliviers et de figuiers (*Ficus carica* L.) (Nair, 1993 in Mosquera-Losada et al., 2012). Puis, suite à la Seconde Guerre Mondiale, l'intensification des pratiques et le remembrement foncier ont fortement impacté la présence des arbres hors forêt (bosquets, haies, vergers, près-vergers, arbres épars, alignements) (Den-Herder et al., 2015). En France, ils ont perdu 60% de leurs surfaces entre le début et la fin du 20^{ème} siècle (Bélouard et Coulon, 2001).



Photo 1: Ovins au pâturage en près-vergers (Source : Photo personnelle)

- Systèmes agroforestiers d'Europe et de France

Mosquera-Losada et al., (2012) identifient six formes de systèmes agroforestiers (SA) en Europe : l'agroforesterie sylvoarable, l'agriculture forestière, les bandes riveraines, les jachères améliorées, les arbres multifonctionnels et le sylvopastoralisme (tableau 2). En France les près-vergers (système sylvoarable) sont les plus répandus (Dupraz et Liagre, 2008). On les retrouve notamment dans les régions de Bretagne, Normandie, Pays de la Loire, mais aussi Alsace-Lorraine et Savoie.

La dernière quantification de ces surfaces fait état de 163 000 ha en 2001 (Bélouard et Coulon, 2001). Sur ces surfaces sont combinées la production de fruits et l'exploitation de l'herbe au pâturage (Dupraz et Liagre, 2008 ; Den-Herder et al., 2015). Les systèmes

sylvopastoraux sont également largement présents en bord de la Méditerranée (Mosquera-Losada et al., 2012).

Aujourd'hui l'ensemble des systèmes agroforestiers de France métropolitaine couvrent 510 130 ha soit 1,8% de la SAU (Den-Herder et al., 2015).

Tableau 2: Pratiques agroforestières d'Europe

Agroforestry practice	Brief description
Silvoarable agroforestry	Widely spaced trees intercropped with annual or perennial crops. It comprises alley cropping, scattered trees and line belts
Forest farming	Forested areas used for production or harvest of natural standing specialty crops for medicinal, ornamental or culinary uses
Riparian buffer strips	Strips of perennial vegetation (tree/shrub/grass) natural or planted between croplands/pastures and water sources such as streams, lakes, wetlands and ponds to protect water quality
Improved fallow	Fast-growing, preferably leguminous woody species planted during the fallow phase of shifting cultivation; the woody species improve soil fertility and may yield economic products
Multipurpose trees	Fruit and other trees randomly or systematically planted in cropland or pasture for the purpose of providing fruit, fuelwood, fodder and timber, amongst other services, on farms and rangelands
Silvopasture	Combining trees with forage and animal production. It comprises forest or woodland grazing and open forest trees

B-2 : INTERETS DES PRATIQUES AGROFORESTIERES

A partir des années 2000, un regain d'intérêt pour les pratiques agroforestières s'observe et les parcelles concernées deviennent peu à peu reconnues et éligibles aux aides de la politique agricole commune. Une évolution qui est également portée par celle des mentalités des citoyens européens soucieux de leur environnement (Eurobarometer, 2008 in Mosquera-Losada et al., 2012).

○ Intérêts économiques

Le projet SAFE (Silvoarable Agroforestry for Europe) a été lancé en 2001 et fut le premier programme de recherche européen pour la prise en compte des modèles agroforestiers dans le cadre de l'évolution de la PAC.

Le projet a notamment montré que dans le cas de cultures intercalaires annuelles (blé, orge, etc.) (photo 2) la surface nécessaire pour obtenir en peuplements purs (culture et arbres séparés) la même production qu'un hectare de système agroforestier est plus importante (Dupraz et al., 2005 ; Dupraz et Liagre., 2008).

Pour arriver à ces résultats la surface équivalente de l'association (SEA ou LER en anglais) a été calculée de la manière suivante :

$$SEA = \frac{Ac}{Pc} + \frac{Aa}{Pa}$$

Ac et Aa sont les rendements des cultures et des arbres en association et Pc et Pa en peuplements purs. Les différentes expérimentations menées en Europe montrent ainsi des SEA pouvant aller jusqu'à 1,6 dans certains systèmes. Cela signifie que pour produire l'équivalent d'une parcelle agroforestière de 100 ha il faut 160 ha de cultures (intercalaire et arbre) en peuplement pur. Les rendements par composante du SA sont plus faibles mais le système pris dans son ensemble reste plus productif (Dupraz et al., 2005 ; Dupraz et Liagre., 2008).



Photo 2: Récolte de blé intercalé à des lignes de peupliers (Source : Projet SAFE, Dupraz et al., 2005)

L'effet sur le rendement des cultures intercalaires dépend des stratégies employées qui partagent l'agroforesterie en trois groupes (tableau 3).

Tableau 3: Stratégies agroforestières selon la densité des arbres sur les parcelles

Stratégie	Densité des arbres
Agroforesterie stable	<50 arbres/ha
Agroforesterie évolutive	50-200 arbres/ha
Agroforesterie éphémère	>200 arbres/ha

Plus la densité et l'âge de la plantation augmentent, plus les rendements des cultures intercalaires sont impactés et diminuent rapidement. C'est pourquoi en agroforesterie éphémère le développement d'une culture entre les rangs d'arbres est faisable uniquement sur les premières années, alors qu'en agroforesterie stable elle peut être présente pendant toute la durée de vie des arbres. En agroforesterie évolutive les cultures s'adaptent aux nouvelles conditions de croissance induites par les arbres (Dupraz et Liagre, 2008).

Sur un plan purement économique, les estimations faites sur la rentabilité de ces systèmes agroforestiers dans le cadre du projet SAFE dépendent de nombreux facteurs à la fois liés aux caractéristiques de la plantation elle-même (type d'arbres, densité, etc.) et des suppositions de subvention. Les conclusions montrent tout de même plusieurs cas où la rentabilité des SA est égale voire supérieure à celle des systèmes forestiers et arables. Ces résultats sont principalement observés dans le cas de bois à bonnes valeurs commerciales et aux SEA élevées (Borrell et al., 2005 ; Dupraz et al., 2005). Les SA sont d'autant plus intéressantes par la diversification des produits agricoles qui permet la combinaison entre source de revenu à court terme (culture intercalaire) et à long terme (arbres) (Dupraz et al., 2005).

- Intérêts environnementaux

Les arbres présentent de nombreux intérêts environnementaux qui dépassent l'échelle de l'EA. Tout comme les prairies ils sont vecteurs de services écosystémiques par leur implication dans la réduction des phénomènes d'érosion, la protection des eaux contre le lessivage des nitrates, le maintien de la biodiversité, etc. (Dupraz et Liagre, 2008 ; Mosquera-Losada et al., 2012). De plus, ils participent à l'atténuation du CC grâce à leurs capacités de séquestration et de stockage du carbone atmosphérique (GES). Les SA ont d'ailleurs été définies comme stratégie d'atténuation à Kyoto (Nair et al., 2010 in Mosquera-Losada et al., 2012 ; Dupraz et Liagre, 2008).

L'agroforesterie est également considérée comme une mesure d'adaptation de l'agriculture au CC (Liagre et al., 2012). Les systèmes agroforestiers instaurent un microclimat qui peut être bénéfique à la fois aux cultures et aux troupeaux en limitant les stress thermiques (canicule) et hydriques (sécheresse) (Farrell et Altieri, 1995 ; Liagre et al., 2012). Cet effet microclimatique a notamment été étudié en régions tropicales et subtropicales (Farrell et Altieri, 1995). Nous détaillons plus amplement ses effets dans la partie D dans le cas des prairies.

PARTIE C : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Afin de comprendre les impacts que peuvent avoir les arbres sur les prairies, il convient avant tout de s'intéresser à leur place au sein de l'écosystème prairial. Nous verrons par la suite que les arbres modifient les différentes relations établies et redéfinissent ainsi la valeur d'usage agricole des prairies.

a) Les prairies et l'écosystème prairial

A-1 : VALEUR D'USAGE AGRICOLE DES PRAIRIES

La valeur d'usage agricole des prairies est définie par les caractéristiques de la végétation qui lui permettent de remplir une fonction donnée dans le système fourrager d'un élevage (Jeannin et al., 1991 in Cruz et al., 2010). On retrouve comme caractéristiques clés ; la productivité, la temporalité de la production, la valeur alimentaire et la souplesse d'utilisation (Duru et al., 2009). Les facteurs biotiques (animaux au pâturage, couvert végétal, etc.) et abiotiques (climat, sol, etc.) qui composent l'écosystème prairial (figure 8) déterminent le fonctionnement des prairies (Plantureux et al., 2012) et agissent par conséquent sur la valeur d'usage agricole et à terme sur les performances animales (Reed, 1972 ; Thomson, 1979 in Snaydon, 1981 ; Peri et al., 2016). L'écosystème prairial est quant à lui directement lié au

système d'élevage dans lequel s'insère la prairie puisque ce dernier définit notamment la gestion du pâturage (CIRAD et GRET, 2002).

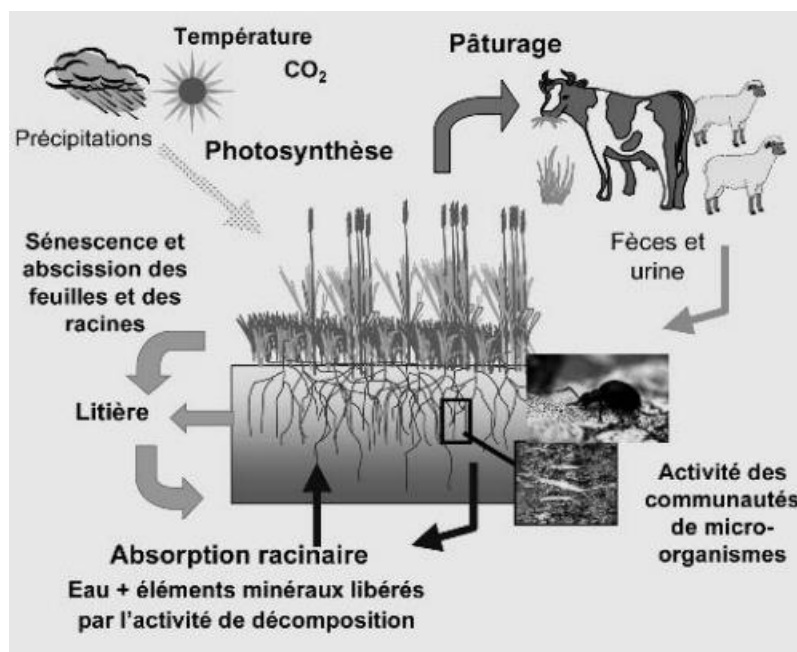


Figure 8: La prairie et l'écosystème prairial (Source : Plantureux et al., 2012)

La productivité d'une prairie correspond à sa quantité de matière sèche présente à l'hectare (kgMS/ha). Elle est fonction de la pousse de l'herbe, ou croissance journalière (kgMS/ha/j), qui se décompose en trois phases (figure 9). La première est une phase de démarrage où la période de croissance est lente après l'exploitation de l'herbe. La plante puise dans ses réserves et ses organes résiduels toujours présents. La seconde est une phase de croissance active grâce aux nouvelles feuilles fabriquées qui accentuent l'activité photosynthétique. La dernière phase marque quant à elle un ralentissement de la croissance due à une photosynthèse arrivée à son seuil maximal d'efficacité. La croissance tend ensuite à s'infléchir lorsque les nouvelles feuilles se mettent à faire de l'ombre aux plus anciennes (Houssin et Jeulin, 2005 ; Pierre et al. 2012).

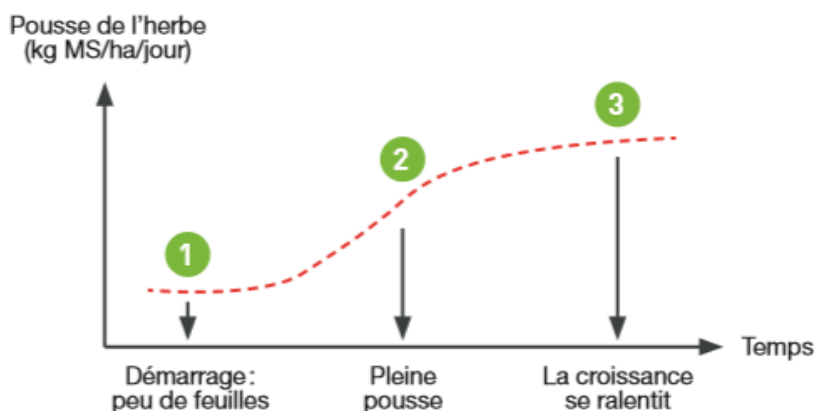


Figure 9: Evolution de la pousse de l'herbe au cours de son cycle de développement (Source : Pierre et al., 2012)

La valeur alimentaire (VA) est caractérisée par la valeur nutritive du fourrage (valeur énergétique² et valeur azotée³) et son ingestibilité⁴. Elle résulte des espèces présentes et de leur composition morphologique et chimique. Nous verrons par la suite que la VA est étroitement liée au stade de la végétation (Ratier, 2005 ; Baumont et al., 2009).

A-2 : EVOLUTION DU POTENTIEL DE PRODUCTION

En climat tempéré, la production d'herbe au cours d'une saison fourragère est maximale en sortie de printemps - début été (figure 10). Elle diminue considérablement en été avant de retrouver un regain de croissance en automne suivi d'une nouvelle inflexion en hiver (Snaydon, 1981 ; Pierre et al., 2012). Des variations de rendements interannuelles sont également notables (Snaydon, 1981).

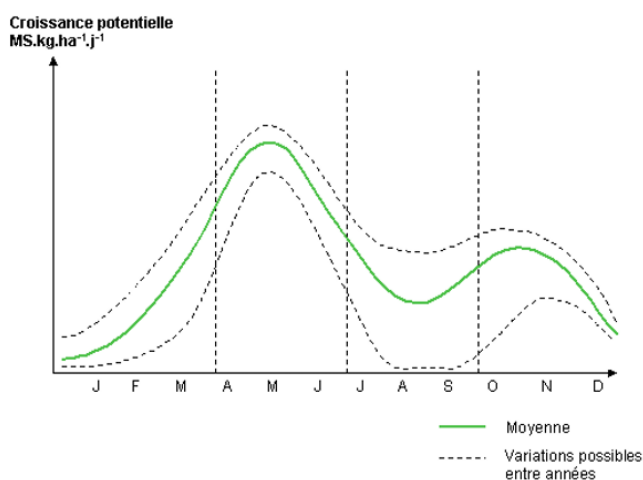


Figure 10: Croissance de l'herbe au cours de l'année (Source : Institut National Agronomique, 2003)

Les transformations qui se réalisent chez les plantes au cours de la pousse de l'herbe conduisent à la réduction de la valeur alimentaire du fourrage (Snaydon, 1981 ; Jeangros et Amaudruz, 2005 ; Baumont et al., 2009 ; Carrère et al., 2010). La proportion de tiges augmente au cours du cycle de développement et réduit la digestibilité de l'herbe (Carrère et al., 2010) en augmentant son ingestibilité (Ratier, 2005 ; Baumont et al., 2009) (figure 11). Les limbes et feuilles sont en effet plus riches en sucres et matières azotées alors que les tiges sont essentiellement constituées de cellulose et d'hémicellulose plus ou moins lignifiées, peu digestibles (Ratier, 2005) et à valeur d'encombrement dans le rumen élevée (Baumont et al., 2009).

Les espèces les plus précoces sont les plus digestibles au stade végétatif mais présentent une dynamique de dégradation plus rapide que les espèces tardives à partir de la fin de la montaison (Carrère et al., 2010). Cette baisse de la valeur nutritive est d'autant plus importante que l'augmentation de biomasse à forte teneur en carbone au cours du cycle entraîne la dilution de l'azote. La diversité dans la phénologie des espèces prairiales confère une plus grande souplesse d'utilisation (Carrère et al., 2010).

² Teneur en énergie du fourrage liée à la digestibilité de la matière organique (dMO).

³ Teneur en protéines digestibles liée à la teneur en matière azotée (MAT).

⁴ Encombrement du rumen par le fourrage proportionnel à son temps de séjour.

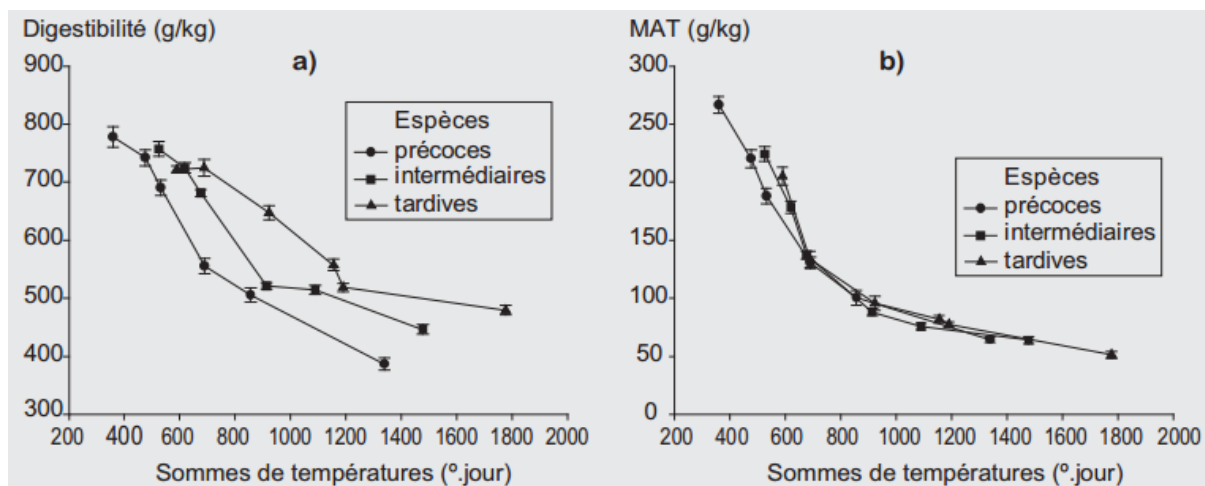


Figure 11: Evolution de la digestibilité (à gauche) et de la valeur azotée (à droite) de différentes espèces au cours du temps (exprimé en somme de degrés-jours) (Source : Carrère et al., 2010)

Les légumineuses ont une valeur nutritive supérieure à celle des graminées (Ratier 2005) et une meilleure ingestibilité (Duru et al., 2009 ; Baumont et al., 2009). La dégradation de la valeur alimentaire s'accélère chez les graminées à partir de la montaison alors qu'elle est plus constante chez les légumineuses. Dans tous les cas l'augmentation de la production se fait au détriment de la valeur alimentaire (Baumont et al., 2009).

A-3 : FACTEURS DE VARIATION

○ Facteurs pédoclimatiques

Les principaux facteurs pédoclimatiques qui influencent la croissance de l'herbe sont le rayonnement, la température et la disponibilité en eau des sols (Vickery, 1981).

Le rayonnement a un double rôle vis-à-vis de l'herbe. Il est une source d'énergie pour la photosynthèse et un signal à partir duquel la morphogenèse et la structuration spatiale de la plante se dessinent. En présence d'ombre ce signal est modifié (Simon et al., 2005) et induit un arrêt du tallage (Houssin et Jeulin, 2005).

La température est déterminante en phase de croissance. L'optimum de croissance est atteint lorsque la température est comprise entre 20 et 23°C pour la majorité des graminées. En dessous de 10°C et au-dessus de 25°C la croissance est nettement ralentie (Vickery, 1981). Ces valeurs diffèrent selon les familles d'espèces et entre espèces de même famille. Le ray-grass (*L. perenne*) par exemple a des exigences thermiques moindres que le trèfle blanc (*T. repens*). Il est dominant en période « froide » et le trèfle blanc en période « chaude » (Simon et al., 2005).

La disponibilité en eau du sol est un facteur essentiel en fin de printemps et courant l'été (Institut National d'Agronomie, 2003 ; Pierre et al., 2012) pendant lesquels la croissance se ralentie jusqu'à la mort de la plante en cas de sécheresse prolongée (Vickery, 1981).

○ Effet de l'exploitation de l'herbe par le pâturage

Le pâturage des animaux affecte la quantité et la qualité de l'herbe disponible à la repousse par la défoliation, le piétinement et les excréments (Snaydon, 1981). La repousse de l'herbe après défoliation est influencée par la fréquence et l'intensité du pâturage

puisqu'elle dépend de l'activité photosynthétique et donc des feuilles restantes après exploitation (Vickery, 1981).

Les observations faites en Nouvelle-Zélande ont montré qu'en conditions de pâturages intenses et fréquents la composition botanique est modifiée, avec une augmentation de la part de ray-grass (*L. perenne*) et de trèfle blanc (*T. repens*) dans le couvert et une diminution de celle du dactyle (*D. glomerata*) et du trèfle violet (*T. pratense*) (Snaydon, 1981). Dans ce cas, le phénomène de compétition pour la lumière est moindre et favorise l'émission de nouvelles feuilles (talles ou ramifications) (Simon et al., 2005). Le piétinement conduit à la sélection d'espèces plus résistantes comme le ray-grass anglais (*L. perenne*) ou le pâturin des près (*P. pratensis*) et peut pénaliser la production, surtout en conditions humides (Edmond, 1966 in Snaydon, 1981). Les excréments ont principalement un effet local sur la quantité et la qualité du couvert par leur effet fertilisant (Snaydon, 1981). A l'endroit même d'une déjection les graminées sont plus présentes par rapport aux légumineuses (Pousset et al., 2005).

- Effet de la fertilisation

La fertilisation azotée est un facteur majeur de variation de la production par son action bénéfique à la vitesse de croissance de l'herbe (Houssin et Jeulin, 2005 ; Leveau, 2005) et par conséquent à la production de matière sèche (Baumont et al., 2009). Son efficacité sur la quantité de fourrage produite est variable en fonction du contexte (conditions pédoclimatiques, mode d'exploitation, niveau de fumure azotée, type de prairie). Elle est maximale au printemps lorsque les conditions climatiques ne sont pas limitantes (Leveau, 2005). La fertilisation azotée modifie la composition botanique du fait des différentes réponses des espèces végétales. Il est ainsi observé une réduction de la part des légumineuses et une augmentation de celle des graminées (Snaydon, 1981). De plus, les bonnes graminées (*L. perenne*, *P. pratense*, etc.) remplacent peu à peu les moyennes (*P. trivialis*, *H. lanatus*, etc.) et les médiocres (*A. capillaris*, *C. cristatus*, etc.) (Leveau, 2005).

La teneur en phosphore favorise le développement des légumineuses et donc de leur proportion dans le couvert (Snaydon, 1981 ; Baumont et al., 2009). Elle en améliore ainsi la valeur azotée. La fertilisation potassique a peu d'influence sur la valeur alimentaire du fourrage (Baumont et al., 2009).

- Effet du type de prairie

De par sa définition, la valeur d'usage agricole d'une prairie est directement liée aux espèces qui la composent (Cruz et al., 2002 ; Duru et al., 2008 ; Daget et Poissonet, 1971 in Theau et al., 2010 ; Cruz et al., 2010). Or, selon le type de prairie cette composition diffère énormément. Les prairies artificielles et temporaires possèdent une végétation relativement homogène d'un point de vue structural et phénologique, alors que la diversité des espèces prairiales présentes en prairies permanentes en fait des systèmes agronomiques plus complexes (Cruz et al., 2010).

A partir des traits fonctionnels⁵ des espèces dominantes de graminées, Cruz et al., (2010) ont identifié six groupes fonctionnels qu'ils différencient par leur valeur d'usage potentielle (tableau 4). Les espèces dominantes composent un fond prairial à partir duquel il est possible

⁵ Paramètres morphologiques, physiologiques ou phénologiques, mesurés au niveau de l'individu, qui influencent sa performance (survie, croissance, reproduction) dans l'écosystème (Violle et al., 2007).

d'évaluer la valeur d'usage et le fonctionnement des écosystèmes (Vivier, 1971 ; Hédin et al., 1972 ; Grime, 1988 in Theau et al., 2010). Les graminées de type A et b sont majoritaires dans les grandes régions herbagères. L'étude menée par Baumont et al., (2011) sur 190 parcelles réparties en France a montré que la proportion de graminées de type A diminue au cours du printemps à l'inverse de celle de type b qui augmente sur la même période.

Tableau 4: Types fonctionnels (TF) de graminées (Source : Baumont et al., 2011 d'après Cruz et al., 2010)

Type d'espèces	Caractéristiques
TFA	Espèces de milieux fertiles, plutôt de petite taille, à phénologie précoce (Ray-grass, Vulpin, Houlque laineuse, Flouve odorante, etc.) <i>Espèces productives mais et de bonne valeur alimentaire, mais qui diminue rapidement du fait de la phénologie précoce.</i>
TFB	Espèces de milieux fertiles ou assez fertiles et d'assez grande taille, à phénologie moyennement précoce (Dactyle, Fétuque élevée, Pâturin des prés, Fromental, etc.) <i>Espèces productives et de bonne valeur alimentaire, mais qui diminue assez rapidement du fait de la phénologie assez précoce.</i>
TFb	Espèces préférant les milieux relativement fertiles, à phénologie tardive (Pâturin commun, Agrostis, Fléole des prés, Houlque molle, etc.) <i>Espèces productives et de bonne valeur alimentaire mais qui diminue plus lentement du fait de la phénologie tardive.</i>
TFC	Espèces de petite taille typiques des pâturages maigres, à phénologie assez précoce (Fétuque rouge, Crételle, etc.) <i>Espèces peu productives et de faible valeur alimentaire mais relativement stable.</i>
TFD	Espèces de taille moyenne, très tardives (Nard, Pâturin de chaix, etc.) <i>Espèces peu productives et de faible valeur alimentaire présentes en estives ou parcours.</i>
TFd	Espèces de taille assez grande, très tardives (Canche cespiteuse, etc.) <i>Espèces peu productives et de faible valeur alimentaire présentes sur des estives ou parcours.</i>
TFE	Espèces à phénologie très précoce, à bonne valeur alimentaire au stade végétatif (Pâturin annuel, Orge des rats, etc.)

b) Les modifications de l'écosystème prairial par la présence des arbres

B-1 : DE NOUVELLES RELATIONS INTERSPECIFIQUES

L'association des arbres à la prairie (photo 3) redéfinit l'écosystème prairial et conduit à de nouvelles relations entre les composantes du système.



Photo 3: Pâturage de bovins en prés-vergers (source : photo personnelle)

Les arbres apportent bien-être, fourrage d'appoint et peuvent améliorer les performances animales en conditions climatiques extrêmes. En périodes de fortes chaleurs, pendant lesquelles la production des animaux est réduite (Wheelock et al., 2010 in Lopes et al., 2016), l'ombre des arbres constitue un véritable abri (Ferreira et al., 2014 ; Atrain et Shahryar, 2012 in Lopes et al., 2016).

En effet, les conditions climatiques peuvent avoir des conséquences sur la santé, le métabolisme et la physiologie des animaux (McManus et al., 1999 ; Nardone et al., 2006 ; Nardone et al., 2010 in Lopes et al., 2016). Les principaux facteurs d'impact de la production animale sont la température, l'humidité relative de l'air et le rayonnement solaire (Souza et al., 2010 ; Klowoski et al., 2002 in Lopes et al., 2016). L'ombre facilite la thermorégulation de l'animal (Glaser, 2008 in Lopes et al., 2016). De plus, de nombreuses essences de fruitiers et de feuillus fournissent des fourrages (frais ou secs) très appréciés par les animaux et pour certains aux qualités nutritionnelles intéressantes. Il est également observé un changement dans le comportement des animaux en système sylvopastorale. A l'inverse des prairies ouvertes (sans arbres) ils sont davantage au pâturage qu'au repos (Karki et Goodman, 2010 in Lopes et al., 2016).

Dans le cadre de l'étude nous nous focaliserons sur les processus d'interactions végétales qui modifient l'accessibilité aux ressources abiotiques pour le couvert herbacé. Ces processus sont au nombre de trois :

- La facilitation intervient lorsqu'une espèce augmente la croissance ou la survie de l'espèce associée à travers l'amélioration des conditions environnementales (Callaway, 1997 ; Justes et al., 2014). Les mécanismes mis en jeu concernent avant tout l'accroissement de la disponibilité pour les ressources que sont l'eau, la lumière et les éléments nutritifs.

- A contrario le processus de compétition apparaît dès que la modification de l'environnement par une espèce conduit à un effet négatif sur une autre espèce en limitant l'acquisition des ressources (Vandermeer, 1989 ; Justes et al., 2014).

- Enfin, la complémentarité de niche est la répartition spatiale et temporelle des ressources qui permet de réduire la compétition interspécifique. En cultures associées elle permet aussi l'exploitation des ressources sous formes biogéochimiques variées (Justes et al., 2014).

Ces trois processus sont mobilisés dans les systèmes agroforestiers du fait des modifications climatiques et pédologiques instaurées (Benavides et al., 2009).

B-2 : MICROCLIMAT ET MODIFICATIONS DES CARACTERISTIQUES DU SOL

- Moins de lumière disponible pour l'herbe

Une forte compétition pour la lumière est présente en systèmes agroforestiers (figure 12). Pendant les premières années qui suivent la plantation cette compétition est négligeable puis elle s'accroît par la suite avec le développement des houppiers et de l'ombrage (Guevara-Escobar 1999, 2007 in Benavides et al., 2009). Elle dépend des espèces implantées en fonction de leur hauteur, de la taille du tronc, du nombre de branches, de la densité du feuillage, de l'architecture du houppier (De Reffye et al., 1995 ; McAdam, 1996 in Benavides et al., 2009 ; Montero et Moreno, 2004), des variations saisonnières de leur feuillage (cas des arbres à feuilles caduques) et de la densité des arbres (Wall et al., 1997 in Benavides et al., 2009).

En hiver l'ombrage s'amointrit nettement (Wall, 2006 in Benavides et al., 2009) avec la tombée des feuilles qui constitue le facteur principal d'obstruction lumineuse (McElwee et Knowles, 2000 in Benavides et al., 2009). En été en revanche, ce feuillage limite le rayonnement (Douglas et al., 2001 in Benavides et al., 2009).

De plus, la transmission lumineuse au couvert herbacé n'est pas homogène. La compétition est moins élevée quand on s'éloigne de l'arbre (Peri et al., 2002 in Benavides et al., 2009 ; Montero et Moreno, 2004) et que l'on se trouve du côté le plus ombragé (côté nord dans l'hémisphère nord) (Gilchirst et al., 1993 ; McElwee et Knowles, 2000 ; Douglas et al., 2001 ; Douglas et al., 2006 in Benavides et al., 2009). Outre ces aspects caractéristiques à la plantation, l'ombrage dépend également de l'entretien des arbres (taille et éclaircissage) (Benavides et al., 2009).

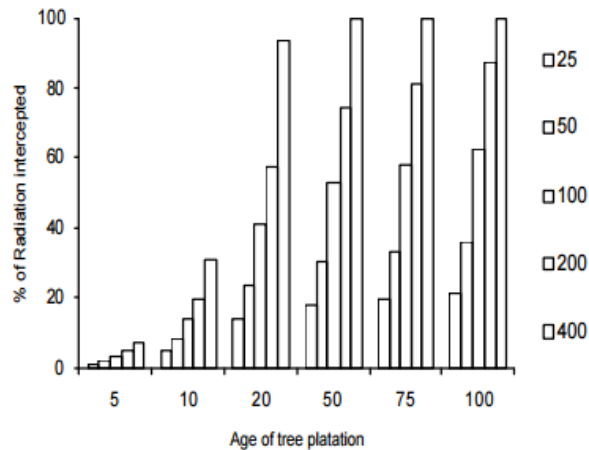


Figure 12: Pourcentage de radiation solaire interceptée par les arbres selon leurs âges et densité (Source : Montero et Moreno, 2004).

Ce processus de compétition qui réduit la quantité de lumière disponible pour le couvert herbacé modifie également les propriétés de cette lumière transmise. Les expériences menées en conditions sylvopastorales ont montré un accroissement de la taille des espèces sous la canopée des arbres (Peri et al., 2001). De même qu'une réduction de l'indice foliaire (LAI) et du nombre de talles (Casal et al., 1987 ; Garnier et Roy, 1988 in Peri et al., 2007 ; Devkota et al., 2000).

- Modification dans la disponibilité de la ressource en eau (figure 13)

Les effets des arbres sur la ressource eau s'observent principalement en période de sécheresse où les températures et le rayonnement solaire sont élevés (Benavides et al., 2009). Les études menées en Nouvelle-Zélande sur la teneur en eau du sol des systèmes sylvopastoraux ont montré que les parcelles sous couvert d'arbres présentent en général une teneur plus faible que dans les prairies traditionnelles (Gidens et al., 1997 ; Douglas et al., 2001 ; Peri et al., 2001 ; McIvor et al., 2003 in Benavides et al., 2009). La compétition pour l'eau y est plus importante, notamment en cas de sols peu profonds empêchant le développement racinaire des arbres en profondeur (Benavides et al., 2009).

L'humidité du sol sous les arbres varie néanmoins entre les différentes strates. D'après les résultats obtenus en Nouvelle-Zélande, Australie et Espagne, les arbres ont un effet positif sur la teneur en eau dans la strate supérieure des sols prairiaux (Guevara-Escobar et al., 2000 ; Anderson et Batini, 1979 ; Joffre et Rambal, 1993 in Benavides et al., 2009). Dans la forêt de Nire (*Nothofagus antarctica*) en Patagonie les racines fines des arbres (inférieures à 2 mm de diamètre) et 95% des racines des espèces prairiales se concentrent dans une profondeur de sol de 10 à 50 cm (Peri, 2011 in Peri et al., 2016). En période de stress hydrique, les arbres peuvent, sous conditions d'ombrage modéré, limiter l'évapotranspiration (température plus douce, fermeture des stomates, réduction de la vitesse du vent) et maintenir l'humidité du sol (Peri et al., 2016).

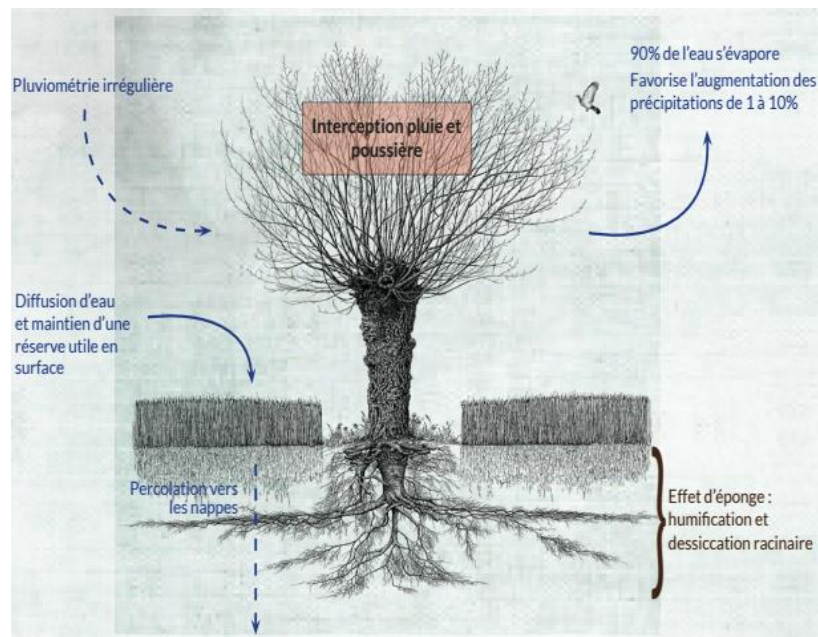


Figure 13: L'arbre et l'eau (Source : Fondation Goodplanet, 2014)

Ces effets dépendent des espèces présentes, de leurs systèmes racinaires et de l'intensité de la compétition (Benavides et al., 2009). Les résultats de Fernandez et al., (2008) sous Pins Ponderosa (*Pinus ponderosa*) en Patagonie renseignent aussi sur un processus de complémentarité autour de la ressource en eau entre les arbres et la prairie. Ils montrent qu'en système agroforestier les Pins utilisent nettement moins l'eau de la strate supérieure (0-20cm) que le couvert herbacé, alors que sur la même profondeur ils l'utilisent beaucoup plus en système forestier.

Les arbres ont également un effet d'interception des précipitations par leurs houppiers (Etienne et Hubert, 1987 ; Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2016). L'eau captée est en partie évaporée et rendue inaccessible à la prairie. Cet effet est largement dépendant de la densité des arbres et de leurs âges (Benavides et al., 2009).

Enfin, en cas de fortes précipitations ou risques d'inondations, les arbres permettent de freiner l'écoulement des eaux en absorbant une partie des eaux de surface d'une part, et en facilitant leur infiltration jusqu'aux nappes souterraines d'autre part (Dupraz et Liagre, 2008).

○ Modération de l'amplitude thermique

Les températures de l'air et du sol sont fonction de facteurs locaux tels que la vitesse du vent, le type de sol, le microrelief, et l'ombrage (Benavides et al., 2009). Par leur présence, les arbres permettent d'une part de réduire la vitesse du vent (barrière physique) et ainsi limiter le refroidissement du couvert sous-jacent et les dommages faits aux plantes (Wall et al., 1997b in Benavides et al., 2009). Cela permet aussi de maintenir l'humidité du sol (Skidmore et al., 1972 ; Eastam et Rose 1988 ; Bird, 1998 in Benavides et al., 2009).

D'autre part, les études menées en Espagne, en Californie et au Chili indiquent que les arbres, grâce à leur ombre, permettent de modérer l'amplitude thermique journalière (figure 14) et la température du sol, d'augmenter l'humidité relative de l'air et de diminuer l'évapotranspiration de la strate herbacée (Cornejo et Gandara, 1980 ; Montoya, 1980 ; Parker et al., 1981 ; Ovalle, 1984 in Etienne et Hubert, 1987). Des résultats sous Pins de Monterey

(*Pinus Radiata*) montrent en effet que les températures sous arbres sont plus chaudes la nuit et plus fraîches le jour (Percival et al., 1984 in Benavides et al., 2009). Ils amoindrissent les variations saisonnières et réduisent les risques de conditions climatiques extrêmes (Benavides et al., 2009). Ces informations sont également avancées par Dupraz et Liagre (2008).

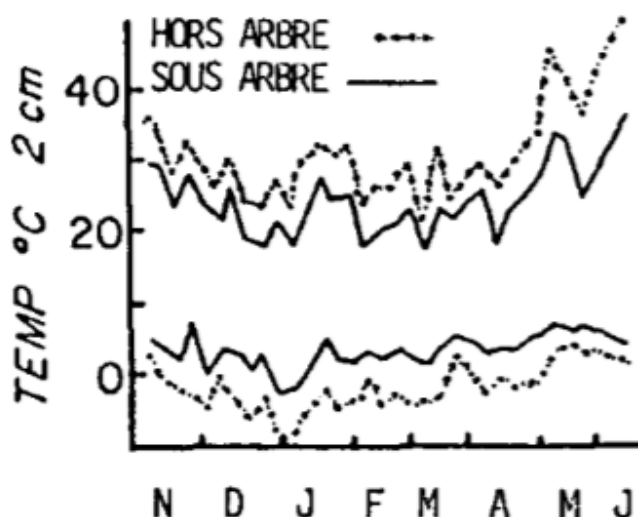


Figure 14: Effet de l'arbre sur les températures maximales et minimales de l'air (Source : Etienne et Hubert, 1987)

Toutefois, d'autres études dans la forêt des Landes (France) ont des résultats contradictoires sur ces effets (Lemoine et al., 1983 in Etienne et Hubert, 1987). D'après Etienne et Hubert, (1987) il est probable que ce soit dû à un climat sous forte influence océanique.

En Nouvelle-Zélande plusieurs relevés de températures sous Pin de Monterey (*Pinus Radiata*) et Peuplier (*Populus*) en système sylvo pastoral montrent que les effets des arbres sur la température du sol dépendent de la densité et de l'âge des arbres. Plus les arbres sont âgés plus le système affiche une baisse des températures du sol (Chang et al., 2002 in Benavides et al., 2009). Idem lorsque la densité des arbres est élevée avec les plus grandes différences en été et au printemps (Percival et al., 1984 ; Hawke et Wedderburn, 1994 in Benavides et al., 2009). Que les arbres soient à feuilles caduques ou persistantes, aucune différence n'est notée sur la température du sol lorsqu'ils sont jeunes. (Douglas et al., 2001 ; Hawke et Wedderburn, 1994 in Benavides et al., 2009).

- Modification des propriétés du sol (figure 16)

Les arbres peuvent modifier les propriétés chimiques du sol grâce notamment à leurs systèmes racinaires. Le mécanisme de pompe à nutriments est permis par les racines profondes qui remontent en surface les éléments minéraux issus de l'altération de la roche mère, et de la récupération de nutriments entraînés par lessivage (Farrell et Altieri, 1995 ; Dupraz et Liagre, 2008). De plus, la litière de feuilles mortes qu'ils créent enrichit le sol en matière organique et induit alors une accélération du processus de minéralisation (Giddens et al., 1997 ; Parfitt et al., 1997 ; Amatya et al, 2002 in Benavides et al., 2009) grâce à

l'augmentation de l'activité microbienne (Farrell et Altieri, 1995). L'augmentation de la fertilité des sols (azote, phosphore, Ca, K, Mg, Na, etc) en systèmes agroforestiers est repérée avant tout sous le houppier de l'arbre pour suivre ensuite un gradient décroissant en s'en éloignant (Guevara-Escobar, 1999 ; Guevara-Escobar et al., 2002 ; Douglas et al., 2006b ; Wall, 2006 in Benavides et al., 200 ; Farrell et Altieri, 1995).

Les arbres semblent également avoir un effet sur la structure du sol en stabilisant les agrégats grâce à leurs systèmes racinaires et à l'activité biologique (Farrell et Altieri, 1995).



Figure 15: Modifications des propriétés du sol par les arbres (Source : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt dans Cheveau, 2016)

c) Impacts des arbres sur les prairies en systèmes sylvopastoraux

C-1 : DIMINUTION GLOBALE DES RENDEMENTS

Les différentes études menées en Nouvelle-Zélande (Peri et al., 2001 ; Peri et al., 2007) et en Espagne (Silva-Pando et al., 2002 ; Obrador et Moreno, 2004) font part d'une diminution de la production de l'herbe par rapport aux prairies ouvertes dès que la compétition pour la lumière entre les deux strates herbacée et arborée devient trop conséquente, et ce quel que soit le type de feuillage (Benavides et al., 2009) (tableau 5). L'ombre des arbres est en effet considérée comme le principal facteur de réduction de cette production (Silva-Pando et al., 2002) (figure 17).

A partir d'un certain niveau de fermeture de la canopée l'ombre s'accroît et la production baisse (Douglas et al., 2001 ; Douglas et al., 2006a ; Guevara-Escobar et al., 2007 in Benavides et al., 2009 ; Silva-Pando et al., 2002 ; Dupraz et Liagre, 2008). D'après Obrador et Moreno, (2004) les arbres auraient un effet positif sur le rendement des prairies dans le cas où les sols sont peu fertiles (oligotrophes). Le processus de facilitation entre les couverts y serait plus important que celui de compétition qui est davantage présent sur sols fertiles. Les mêmes conclusions sont avancées par Etienne et Hubert (1987).

Tableau 5: Effet de l'âge, de la densité et de la plantation des arbres (une espèce à feuillage persistant et une espèce à feuillage caduque) sur la réduction de la production des prairies comparée à des prairies ouvertes (Source : Benavides et al., 2009)

Tree species	Tree age (years)	Tree density (sph)	Planting pattern	Pasture reduction ^a (%)	Authors
<i>Pinus radiata</i> D. Don	15	100	Even	10	Cossens and Crossan (1995)
		100	Even	68	Hawke (1991)
		200	Even	27	Cossens and Crossan (1995)
		100–200	Even	NS	Cossens and Crossan (1991)
		400	Even	49	Cossens and Crossan (1995)
	16	100	Even	41	Cossens and Crossan (1991)
	17–19	100	Even	34–41	Cossens and Hawke (2000)
	18	200	Even	93	Percival and Knowles (1988)
	20	100–200	Even	73	Cossens and Hawke (2000)
		400	Even	100	Cossens and Hawke (2000)
<i>Populus</i> spp.	15	16–44	Even	27	Douglas et al. (2001)
	16–19	25–100	Uneven	12–21 ^b	Gilchrist et al. (1993)
		156	Even	23 ^b	Gilchrist et al. (1993)
	29–40	37	Uneven	40	Guevara-Escobar et al. (1997, 2007)
	29–30	Isolated ^c	–	40	Devkota et al. (1997b)
	25–30	CCL ^d 20%	Uneven ^e	50	Wall (2006)
	>30	Isolated ^f	–	65	Gilchrist et al. (1993)

^a (Open pasture yield–Pasture yield beneath trees) × 100/(Open pasture yield)

^b Only summer

^c Samples taken beyond the canopy shade

^d Canopy cover expressed as percentage canopy closure with leaves (CCL)

^e Planting pattern followed a Nelder design

^f Samples taken beneath canopy

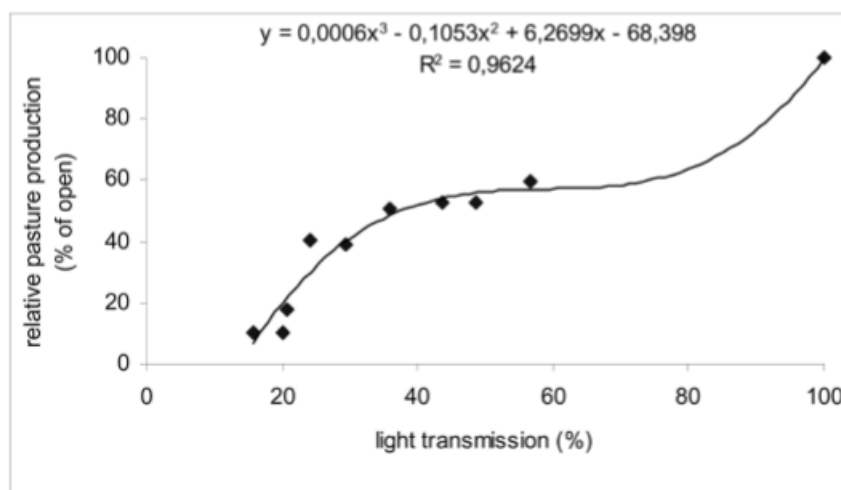


Figure 16: Production annuelle de la prairie en fonction de la transmission lumineuse en système sylvopastoral espagnol (Galice). (Source : Silva-Pando et al., 2002)

Dans le cas des arbres au feuillage caduque, cet effet s'opère notamment du printemps jusqu'en automne, au moment où les feuilles tombent au sol (Douglas et al., 2006a in Benavides et al., 2009). Certains résultats en systèmes sylvopastoraux Néozélandais indiquent que sur toute la saison de feuillage des arbres, la production d'herbe est plus faible qu'en prairies ouvertes. Elle a tendance à rejoindre le niveau de productivité de ces dernières en hiver (Guevara-Escobar 1999, Douglas et al., 2001 ; Guevara-Escobar et al., 2007 in Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2007) ou en période de sécheresse (Peri et al., 2007). Au

nord-ouest de l'Espagne (Galice), Silva-Pando et al., (2002) ont montré que les variations saisonnières de production étaient plus faibles sous Pins Sylvestre (*Pinus Sylvestris*) que sur prairies sans arbres, leur feuillage étant persistant.

La production diffère également avec la distance à l'arbre et l'exposition au soleil. Ainsi, elle est plus élevée au sud des arbres (Douglas et al., 2001 in Benavides et al., 2009) et à une distance suffisante pour réduire l'effet d'ombrage (Gilchrist et al., 1993 ; Wall, 2006 in Benavides et al., 2009). Elle reste néanmoins toujours plus faible, y compris au niveau des puits de lumière laissés par les arbres, qu'en prairie ouverte, surtout l'été, mais elle montre des similarités à l'automne en condition de moindre densité d'arbres (Wall, 2006 in Benavides et al., 2009). Les études sur la productivité des prairies par rapport à la distance à l'arbre dans les dehesas de la côte ouest espagnole nuancent ces dernières affirmations puisque les résultats des rendements d'avoine (*A. sativa*) montrent des tendances irrégulières (Obrador et Moreno, 2004).

Sous Pins de Monterey (*Pinus radiata*) en Nouvelle-Zélande, Peri et al., (2001) ont montré que la luzerne (*M. sativa*) était plus productive que le dactyle (*D. glomerata*). La productivité diffère également de la tolérance des espèces à l'ombre. En présence d'ombre la composition botanique change peu à peu pour des espèces tolérantes. La qualité de la prairie en est modifiée.

C-2 : UNE VALEUR ALIMENTAIRE REDEFINIE

- Ralentissement du cycle de développement

En présence des arbres la croissance de l'herbe est ralentie (Peri et al., 2007). Le cycle de vie des espèces prairiales est prolongé (Balocchi et Philipps, 1997 in Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2001) et son achèvement dépend de la tolérance de ces espèces à l'ombre (Benavides et al., 2009).

- Modification de la composition botanique (tableau 6)

Les expériences menées en Nouvelle-Zélande sur la tolérance des espèces prairiales en conditions sylvopastorales ont montré que la houlque laineuse (*H. lanatus*) et le dactyle (*D. glomerata*) sont des graminées des plus tolérantes (Devkota et al., 1997a, 1998 in Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2007). Le lotier des fanges (*L. pedunculatus*) se démarque du côté des légumineuses (West et al., 1991 ; Devkota et al., 1997a in Benavides et al., 2009). D'autres espèces sont tolérantes à l'ombre mais sous un plus faible ombrage telles que l'agrostis commun (*A. capillaris*) et le pâturin annuel (*P. annua*) (Devkota et al., 1997a in Benavides et al., 2009).

Que les arbres soient à feuillage caduque ou persistant, la teneur en légumineuses et en ray-grass anglais (*L. perenne*) dans le couvert sous-jacent diminue (Devkota et al., 2000). La teneur en graminées, quant à elle, augmente avec la proportion d'espèces aux moindres besoins lumineux. Les essais conduits sous Pins de Monterey (*P. radiata*) en Nouvelle-Zélande révèlent une amplification de ce phénomène avec des arbres plus âgés et à forte densité (Hawke, 1991 in Benavides et al., 2009). La composition botanique varie également au sein du système agroforestier. La teneur en graminées dans les puits de lumière est moins élevée que sous les arbres (Benavides et al., 2009).

En été les différences sont moins marquantes car la teneur en graminées diminue en prairie ouverte alors qu'à la même période sous les arbres la phase de sénescence est ralentie (Wall, 2006 in Benavides et al., 2009).

- Modification de la valeur nutritive

Les modifications de la composition des espèces prairiales en systèmes agroforestiers et de leur phénologie changent également leurs valeurs nutritives.

Les analyses réalisées sous peupliers et pins de Monterey en Nouvelle-Zélande informent d'une augmentation de la teneur en protéine des prairies sous arbres (Guevara-Escobar, 1999 ; Wall, 2006 ; Balocchi et Philipps, 1997 in Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2001 ; Peri et al., 2016). D'après Peri et al. (2016) ce résultat peut être dû à la réduction des photosynthétats par manque de lumière, augmentant par conséquent la concentration en azote dans la plante, ou par une meilleure minéralisation de la matière organique sous les arbres rendant disponible plus facilement l'azote à l'herbe.

De plus, les températures élevées ont un effet négatif sur la qualité des fourrages en favorisant la lignification (Henderson et Robinson, 1982 in Peri et al., 2016). La digestibilité du fourrage diminue entre le printemps et l'été, et cela s'observe davantage en prairies ouvertes (Benavides et al., 2009).

Tableau 6: Changement dans la composition botanique relevé sous trois espèces d'arbres en systèmes sylvo-pastoraux Néo-Zélandais, et comparaison avec des prairies ouvertes (Source : Benavides et al., 2009).

Tree species	Botanical component	Pasture species	Change	Authors
<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Legume	<i>Trifolium repens</i> L.	Decrease	Percival et al. (1984a) Percival and Hawke (1985) Hawke (1991) Cossens and Hawke (2000)
		<i>Trifolium subterraneum</i> L.	Decrease	Gillingham (1984) Kellas et al. (1995)
	Grass		Increase	Gillingham (1984) Percival and Hawke (1985) Hawke (1991) Kellas et al. (1995)
		<i>Lolium perenne</i> L.	Decrease	Percival and Hawke (1985) Hawke (1991) Cossens and Hawke (2000)
		<i>Dactylis glomerata</i> L.	Increase	Cossens and Hawke (2000)
	Weed	<i>Holcus lanatus</i> L.	Increase	Kellas et al. (1995)
			Increase	Gillingham (1984)
	Dead matter and litter		Increase	Percival et al. (1984a) Percival and Hawke (1985) Gillingham (1984) Hawke (1991)
	Legume	<i>Trifolium repens</i> L.	Decrease	Douglas et al. (2001, 2006a)
		<i>Lotus uliginosus</i> Schkuhr	Similar	Douglas et al. (2006a)
	Grass		Increase	Douglas et al. (2001, 2006a)
		<i>Lolium perenne</i> L.	Decrease	Crowe and McAdam (1992b) Guevara-Escobar et al. (2007)
			Similar	Douglas et al. (2006a)
	Weed	<i>Holcus lanatus</i> L.	Similar	Wall (2006)
			Increase	Crowe and McAdam (1992b) Guevara-Escobar (1999) Wall (2006)
		<i>Dactylis glomerata</i> L.	Increase	Douglas et al. (2006a)
<i>Populus</i> spp.	Grass	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Increase	Crowe and McAdam (1992a, 1992b)
		<i>Agrostis capillaris</i> L.	Decrease	Douglas et al. (2006a)
	Weed	<i>Poa annua</i> L.	Increase	Crowe and McAdam (1992a) Guevara-Escobar (1999) Wall (2006)
	Dead matter and litter		Decrease	Douglas et al. (2001; 2006a)
			Increase	Guevara-Escobar et al. (2007) Douglas et al. (2006a)
	Legume	<i>Trifolium repens</i> L.	Decrease	Miller et al. (1996)
	Grass	<i>Lolium perenne</i> L.	Decrease	Miller et al. (1996)
		<i>Dactylis glomerata</i> L.	Increase	Miller et al. (1996)

PARTIE D : PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

La recherche de l'adaptation des systèmes herbagers au CC, pour répondre aux objectifs de sécurisation de l'alimentation animale et donc de performances économiques des systèmes d'élevage, tout en agissant positivement pour l'environnement, a placé l'agroforesterie au cœur des réflexions de systèmes résilients aux évolutions du climat.

Si son intérêt climatique est bien connu, peu de connaissances en revanche des effets de ces systèmes sur le potentiel de production des prairies en France sont apportées. Les études déjà menées sur le sujet ont notamment porté sur divers systèmes de Nouvelle-Zélande, d'Argentine ou encore d'Espagne dans des contextes pédoclimatiques et agroforestiers différents.

Afin de valoriser au mieux ces surfaces agroforestières pour les systèmes d'élevage herbivores et de les intégrer à d'éventuelles futures démarches de conseil, il est primordial de mieux connaître leurs impacts sur les prairies. Cette étude a vocation de participer à l'enrichissement de ces connaissances dans les contextes agroforestiers français en se posant la question suivante :

Comment le potentiel de production printanier des prairies est-il impacté en présence d'arbres intraparcellaires dans les régions de l'Ouest et du Nord de la France ?

Quelques hypothèses peuvent être formulées pour y répondre :

H1 : Les rendements des prairies en présence d'arbres sont inférieurs à ceux de prairies ouvertes adjacentes.

En période de pleine croissance des espèces prairiales, au cours de laquelle les facteurs climatiques que sont la température et le rayonnement sont essentiels, on peut supposer que les arbres de par leur modération des amplitudes thermiques et leur interception des rayonnements lumineux puissent diminuer les rendements dans ces grandes régions herbagères. Cette hypothèse n'est plus valable en cas de contextes climatiques atypiques comme la sécheresse de 2011 (ce qui n'a pas été le cas pour l'année 2016). De plus, en raison du feuillage encore non établi du début de printemps les différences devraient être négligeables ou principalement due à la compétition.

H2 : En faisant une sélection des espèces par leur tolérance à l'ombre, les arbres diminuent la teneur en légumineuses pour augmenter celle des graminées.

Du fait de leur faible tolérance à l'ombre, les légumineuses devraient moins se retrouver dans les parcelles agroforestières qu'en prairies ouvertes. De même, alors que la teneur en graminées dans son ensemble devrait augmenter, celle du Ray-grass anglais (que l'on devrait fréquemment rencontrer au vu des régions qui délimitent l'étude) risque de diminuer. Des différences au sein de la parcelle agroforestière devraient apparaître en fonction de l'ombre projetée dans les parcelles étudiées.

H3 : La valeur alimentaire des graminées est améliorée en comparaison à celle des prairies ouvertes.

Le microclimat que les arbres ont la faculté de créer devrait ralentir la phénologie des graminées et ainsi améliorer leurs valeurs alimentaires (digestibilité et ingestibilité),

notamment en réduisant les teneurs en éléments lignifiés peu digestibles. Des différences devraient apparaître dans les parcelles agroforestières en fonction de l'ombre projetée par les arbres.

PARTIE E : MATERIELS ET METHODES

a) Les sites (exploitations) de l'étude

A-1 : CHOIX DES SITES ET LOCALISATION

Les sites de l'étude sont issus des résultats de la première tâche du projet Parasol visant à recenser les parcelles agroforestières expérimentales mises en place lors des programmes IRSTEA (anciennement CEMAGREF) et INRA des années 1980 et 1990. D'autres encore sont issus d'un recensement plus récent (2012) réalisé par AGROOF dans le cadre du projet AGRIPSOL (agroforesterie pour la protection des sols). Enfin, suite aux objectifs fixés et aux critères de sélection, le réseau d'agriculteurs de l'Idelle a été mis à disposition, et au final 6 sites ont été sélectionnés.

Ces sites sont tous présents dans la moitié Nord de France et sont répartis dans les régions de Normandie (Orne et Eure), Pays de la Loire (Mayenne), et Hauts de France (Pas de Calais). Ils sont numérotés de 7 à 12 (S7...S12) (figure 17).



Figure 17: Localisation des sites de l'étude

Les coordonnées GPS des sites sont renseignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Coordonnées GPS des sites de l'étude

Site	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Latitude	49° 0'59.02"N	49° 8'1.18"N	48°28'57.94"N	48°27'7.36"N	48°31'53.05"N	50°42'39.71"N
Longitude	0°40'9.02"E	0°40'0.43"E	0°35'12.96"O	0°34'16.97"O	0°47'42.33"O	1°52'51.37"E

A-2 : CONTEXTE CLIMATIQUE

Les 6 sites sont présents dans 4 régions fourragères ISOP (Information et suivi objectif des prairies) dont les données météorologiques fournies par Météo France ont permis d'approcher leurs contextes climatiques. S7 et S8 sont en région 2512, S9 et S11 en région 2507, S10 en région 5221 et S12 en région 2209 (figure 18).

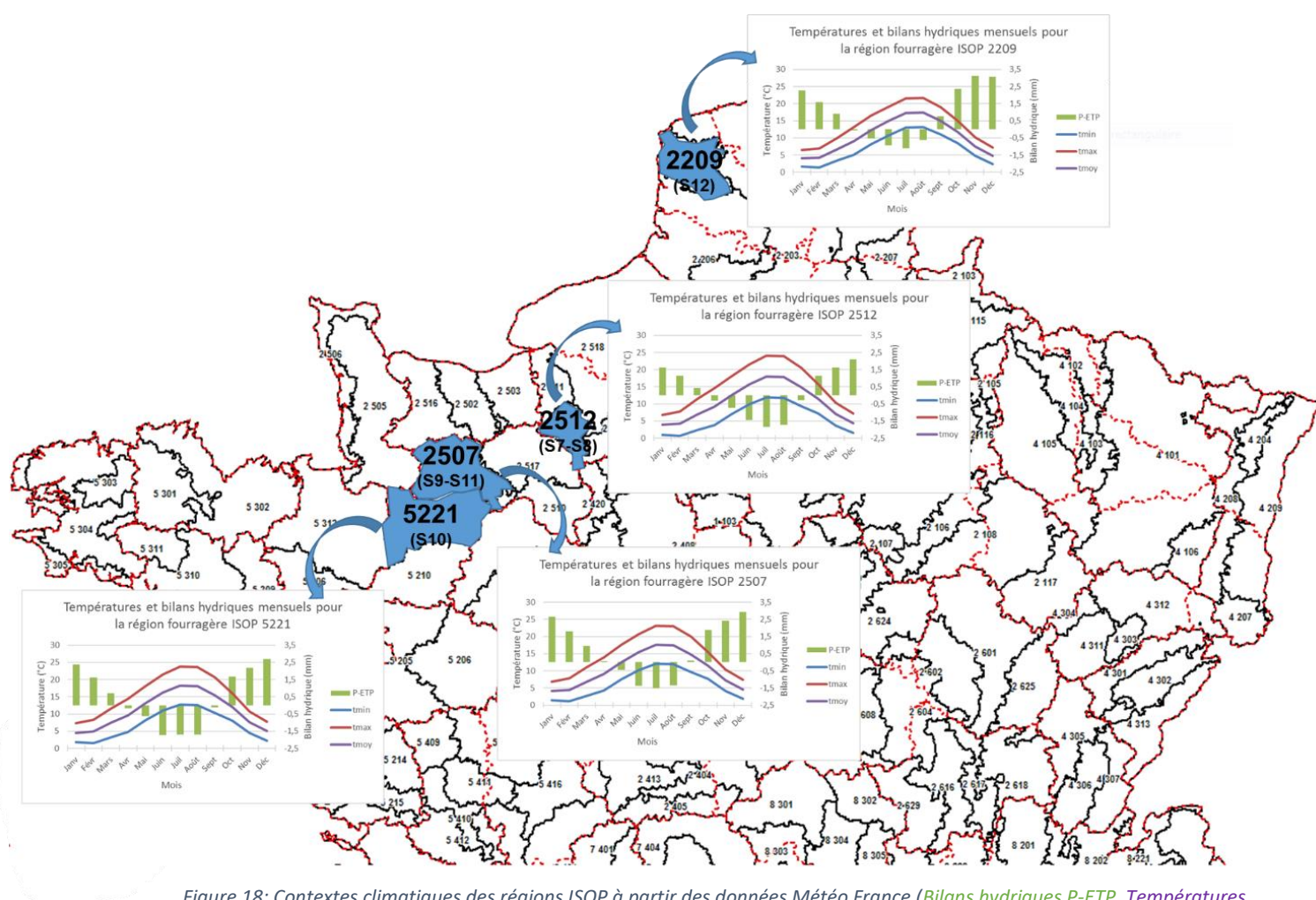


Figure 18: Contextes climatiques des régions ISOP à partir des données Météo France (Bilans hydriques P-ETP, Températures moyennes Tmoy, Maximales Tmax et Minimales Tmin)

Tous les sites sont sous climat océanique plus ou moins altéré (Joly et al., 2010) et montrent de grandes similarités climatiques. Les températures moyennes sont semblables entre régions ISOP mais l'amplitude thermique est cependant plus modérée pour la région 2209 en climat océanique franc avec des maximales moins élevées et des minimales plus

hautes (surtout en été). Les déficits hydriques estivaux y sont également plus faibles et ceux hivernaux plus élevés en raison de pluies abondantes et fréquentes. A l'inverse, les trois autres régions ISOP en climat océanique dégradé à altéré montrent des déficits hydriques plus intenses, notamment pour les 2512 et 5221 légèrement situées plus à l'intérieur des terres, et subissant donc moins à l'influence océanique.

A-3 : DISPOSITIFS AGROFORESTIERS RENCONTRES

Le tableau 8 décrit les caractéristiques des dispositifs agroforestiers rencontrés sur les sites de l'étude. La totalité des parcelles agroforestières sont des près-vergers de prairies permanentes aux densités <200 arbres/ha et aux distances inter et intralignes peu différentes. Les distances interlignes définissent les distances entre les lignes de plantation des arbres, et les distances intralignes les distances qu'il y a entre deux arbres sur la même ligne de plantation.

Tableau 8: Caractéristiques des parcelles agroforestières étudiées

Site	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Dispositif	Près-vergers	Près-vergers	Près-vergers	Près-vergers	Près-vergers	Près-vergers
Prairie	PP	PP	PP	PP	PP	PP
Surface	3ha	3ha	1ha	1,4ha	1,5ha	0,95ha
Pâturage	Ovin	Ovin	Bovin	Ovin	Bovin	Bovin
Arbres	Pommiers HT	Pommiers HT	Pommiers et poiriers HT	Pommiers et poiriers HT	Pommiers et poiriers HT	Mixte (fruitiers et forestiers)
Age	10-30 ans	20 ans	20 ans	16 ans	10-30ans	15 ans
Densité	50arbres/ha	77arbres/ha	100arbres/ha	180arbres/ha	80arbres/ha	76arbres/ha
Distance interligne	10m	9,2m	10m	8m	12m	12m
Distance intraligne	10m	12m	10m	6m	10m	6m
Orientatio n des lignes	NO-SE	SO-NE	O-E	SO-NE	NO-SE	O-E

b) Périodes de l'étude et mesures effectuées

L'étude dans sa totalité au sein de chaque projet porte sur l'ensemble de la saison fourragère. Sur les 5 périodes (P) d'analyse au cours l'année (printemps (P1 et P2), été (P3), automne (P4) et hiver (P5)) ce rapport traite de la production printanière (P1 et P2). En P1 ont

été effectués les premiers relevés de biomasse. A ces relevés s'ajoutent des analyses de la composition botanique pour la P2.

La P1 et la P2 ont été établies à partir des repères de sommes de températures à compter du 01/02 et pour atteindre respectivement les objectifs de 500-600°Cj, période à laquelle les graminées précoces sont entre les stades épi 10 cm et épiaison, et de 1100-1200°Cj, période qui correspond à l'épiaison des graminées tardives. Pour cela il a été utilisé le générateur de repères de dates de stades de développement pour le diagnostic des pratiques de valorisation des prairies (Casdar PraiCos), alimenté par les données journalières publiques de Météo France. Le tableau 9 ci-dessous renseigne sur les dates et les repères des périodes d'analyse pour le printemps 2016.

Tableau 9: Dates et sommes de températures à partir desquelles les relevés en P1 et P2 ont été effectués

Site	S7	S8	S9	S10	S11	S12
P1 ($\Sigma T^{\circ}C$ à partir du 01/02)	04/05 584°Cj	05/05 605°Cj	21/04 579°Cj	20/04 556°Cj	22/04 561°Cj	03/05 641°Cj
P2 ($\Sigma T^{\circ}C$ à partir du 01/02)	16/06 1194°Cj	22/06 1302°Cj	13/06 1115°Cj	07/06 1160°Cj	09/06 1168°Cj	27/06 1408°Cj

Les sommes de températures ont été calculées de la manière suivante avec la température de base considérée égale à 0°C :

$$^{\circ}Cj = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - T_{base}$$

c) Dispositif expérimental

Pour chaque site il a été choisi quatre espaces de prélèvements. Trois sur la prairie en agroforesterie (AF) à partir de 3 arbres, et un en prairie ouverte adjacente que l'on qualifie de parcelle témoin (T).

Dans la parcelle agroforestière ces espaces ont été choisis dans un secteur représentatif de cette dernière. Ils se présentent sur un même faciès de végétation et préférentiellement autour des mêmes essences d'arbres, de même envergure. Ces faciès sont décrits en annexe 1. Les hauteurs des arbres sélectionnés et de la base du houppier, ainsi que le diamètre de leurs houppiers ont été répertoriés (annexe 2). Les hauteurs ont été mesurées à partir de la méthode de la croix du bûcheron à partir de 2 baguettes de dimensions identiques. Le diamètre est issu de la moyenne des diamètres Nord-Sud et Ouest-Est mesurés par un mètre. Dans certains cas ces dimensions ont été fournies par les acteurs de la tâche 3 du projet Parasol.

La parcelle témoin (photo 4) quant à elle présente des caractéristiques de sols et une exposition au soleil semblables à la parcelle agroforestière, ainsi que des modes d'utilisation analogues. Dans le cas de S7 cette parcelle témoin n'est autre qu'un secteur en parcelle agroforestière à une distance suffisante pour limiter l'influence éventuelle d'arbres ou de haies.

Ces choix ont également été pris en concertation avec les éleveurs pour limiter les contraintes du dispositif.



Photo 4: Espace de mesure en parcelle témoin (Source : photo personnelle)

Les espaces sont délimités par des mises en défens (photo 5) installées fin mars / début avril et alimentées par des batteries solaires. La largeur de ces mises en défens est de 2 m pour éviter tout prélèvement animal sous les fils électriques. Les mises en défens sont placées d'un côté ou de l'autre de l'arbre afin que l'année suivante le côté laissé libre en 2016 puisse être utilisé sans risques pour les résultats de 2017.



Photo 5: Mise en défens installée sur le site S9 (Source : photo personnelle)

Les espaces de prélèvements en parcelle agroforestière sont orientées Nord-Sud afin d'avoir un côté ombragé (Nord) et un côté ensoleillé (Sud). Dans chacun de ces espaces six zones de mesures ont reçu les quadrats de 0,54 m² : 3 au nord et 3 au sud de chaque arbre. Leurs emplacements (SC, SB, SA, NA, NB, NC) suivent la figure 19. S et N indiquent les orientations Sud et Nord, alors que A, B et C correspondent à 3 distances à l'arbre. Ces dernières respectent au mieux ; 1,5 m de l'arbre pour les quadrats à la distance A, $\frac{1}{4}$ de la distance interligne pour les quadrats à la distance B, et $\frac{1}{2}$ de la distance interligne pour les quadrats à la distance C. Au vu de certains facteurs indésirables liés au terrain (exemple des taupinières, roches, etc.), ces distances ont été rendues légèrement flexibles pour éviter les biais comme le montre la figure 19.

Les distances sont calculées entre les centres de l'arbre et du quadrat. Chaque espace témoin a cinq zones de mesures (TE) destinées à recevoir le quadrat. Il est posé de façon soignée pour éviter d'écraser les talles et les limbes de part et d'autre des bords du cadre.

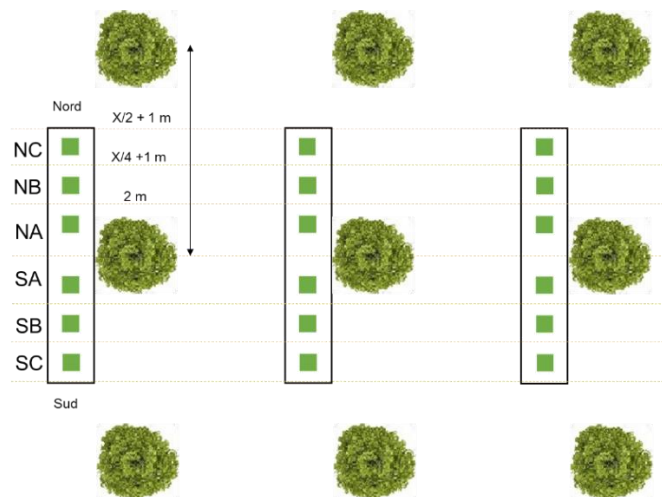


Figure 19: Emplacement des zones de mesures sur les parcelles agroforestières

d) Opérations menées

D-1 : MESURES DE BIOMASSE

Avant et après chaque prélèvement de biomasse la hauteur d'herbe a été mesurée sur l'ensemble de la surface du quadrat (6 mesures) avec l'herbomètre à plateau de marque Jenquip (photo 6a). En P1, une hauteur d'herbe de 5 cm devait être respectée avant chaque prélèvement. Dans le cas où cette hauteur avoisinait les 5 cm, il a été décidé de descendre le seuil à 3 cm pour faciliter les relevés. Ce fut notamment le cas pour les sites 7 et 11. Au-delà de ce nouveau seuil aucun prélèvement n'était assuré. Le seul exemple fut le site 8. L'herbe une fois tondue a été pesée au champ avec une balance précise au gramme près.

Pour assurer des mesures de qualité la balance était mise à niveau avant chaque pesée. Un sous-échantillonnage a été réalisé après la pesée pour analyser les teneurs en MS. Les sous-échantillons (100g dans la mesure du possible en P1) ont été par la suite placés à l'étuve (photo 6b) pendant 72h à 60°C.

Pour éviter toute intrusion, d'air les sous-échantillons étaient placés dans des sachets plastiques refermables. Après les coupes et avant passage à l'étuve, les sachets ont été placés au congélateur.



Photo 6: a-Herbomètre à plateau, b-Etuve (Source : photo personnelle)

Après les prélèvements de P2 les surfaces des mises en défens ont été coupées avec un coupe-bordure pour limiter les phénomènes de compétition au sein du couvert herbacé.

Les données de hauteurs d'herbe, de biomasse et de MS ont permis de traiter l'aspect production des zones par les rendements et les densités de chaque quadrat (0,54 m²). Ces derniers ont été calculés de manière suivante :

$$\text{Rendement (tMS/ha)} = (BC * txMS) * \frac{10000}{0,54}$$

$$\text{Densité (kgMS/cm/ha)} = \frac{qMS}{H_{avc} - H_{apc}} * \frac{10000}{0,54}$$

Où BC est la biomasse coupée, txMS le taux de MS déterminé à l'étuve, qMS la quantité de MS du quadrat, Havc la hauteur avant la coupe et Hapc la hauteur après la coupe.

En P2, suite au phénomène de verse fréquemment rencontré, les calculs de densités ont été très largement surestimés. La figure 20 rend compte de l'imprécision des relevés de hauteurs d'herbe à partir d'une dizaine de centimètres. Alors qu'en moyenne les densités d'herbe dans les régions de notre étude atteignent les 220 à 350 kgMS/cm/ha selon la période (Defrance et al., 2004) les résultats pouvaient s'avérer être le double voire le triple de ces références. Il a été décidé de ne pas traiter ces résultats pour la P2 dans ce rapport.

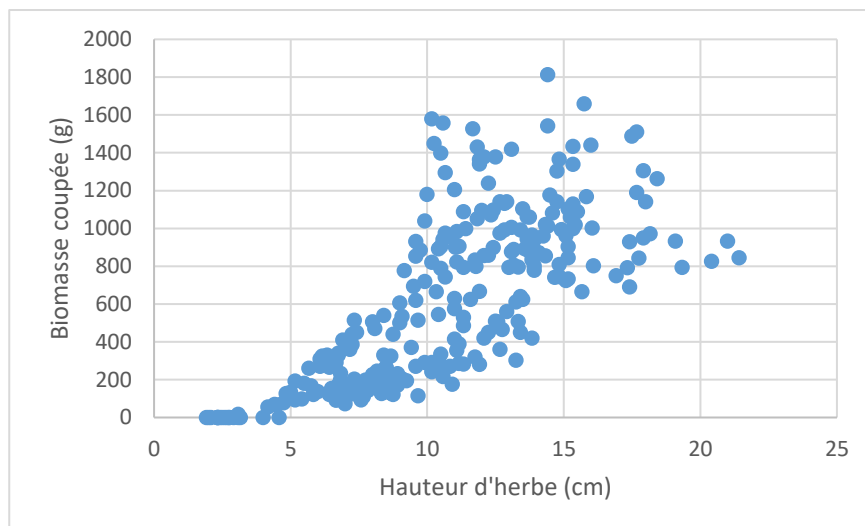


Figure 20: Biomasse coupée au champ en fonction de la hauteur d'herbe mesurée

D-2 : ANALYSE DE LA VEGETATION DU COUVERT PRAIRIAL

L'analyse botanique a consisté à déterminer les espèces dominantes et leurs stades phénologiques. La méthode utilisée s'inspire des travaux de Theau et al., (2010) et de Jeangros et Arnaudruz, (2005).

Dans le premier cas il s'agit de faire une estimation simplifiée visuelle de la composition botanique à partir de la dominance des espèces. Nous avons considéré comme dominante une espèce dont la part dans le quadrat revient au moins à 1/10ème de ce dernier (équivalent de la surface de 2 mains aux doigts écartés). Pour cela, la part de chaque famille (graminées, légumineuses, diverses) est d'abord estimée au sein du quadrat (photo 7). Cette appréciation est faite sur la profondeur et la surface du quadrat. Les espèces de graminées, légumineuses et autres dicotylédones (diverses) considérées comme dominantes sont ensuite déterminées à l'aide de clés de détermination. On leur donne une note de 1 à 10 pour chaque quadrat (la somme ne devant pas dépasser 10).



Photo 7: Quadrat placé et prêt pour analyses (Source : photo personnelle)

Une fois déterminées, on attribue aux espèces de graminées et légumineuses uniquement un stade phénologique à partir de l'adaptation des travaux de Jeangros et Arnaudruz, (2005). Pour les graminées une note de 1 à 4 est donnée. Elle est de 1 à 5 pour les légumineuses (tableau 10).

Tableau 10: Notes attribuées aux espèces dominantes en fonction de leur stade phénologique (Source : Jeangros et Arnaudruz, 2005)

Graminées		Légumineuses	
1	Végétatif-début montaison	1	Rosette (feuilles développées)
2	Montaison (épis montent chez 50% des plantes)	2	Montaison (boutons floraux montent chez 50% des plantes)
3	Début épiaison (quelques épis visibles)	3	Début floraison (10% fleurissent)
4	Epiaison floraison (50% des épis sortis ou en floraison)	4	Floraison-flétrissement (50% fleurissent-flétrissent)
		5	Fin de cycle (50% avec fruits, dispersion des fruits)

Les types fonctionnels de graminées définis par Cruz et al., (2010) ont également été déterminés. L'intérêt de cette détermination est de rendre compte du comportement des graminées dans leur environnement. Ces différents types fonctionnels ont été présentés dans la tableau 4.

D-3 : MESURES DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE

Les mesures de température et d'humidité sont réalisées à l'aide de capteurs climatiques placés dans les parcelles expérimentales et témoins à environ 1 m du sol. Ces capteurs ont été réglés pour effectuer des mesures toutes les 10 minutes. Sur chaque site un capteur est installé dans la zone témoin (C3), un autre à 1 m de l'arbre (C1) et un dernier à l'interligne des arbres (C2). Afin de garantir la qualité des résultats les capteurs ont été suspendus dans des abris blanc (photo 8).



Photo 8: Emplacement des capteurs climatiques par rapport à l'arbre (Source : photo personnelle)

e) Traitement statistique

Les données sont traitées en deux parties correspondant à chaque période. Pour chaque variable étudiée (rendement, famille d'espèces, etc.) deux analyses des variances (ANOVA) sont réalisées suivies de tests de Student-Neuuman-Keuls (SNK) en cas de significativité.

La première : ANOVA n°1

Elle a 1 facteur (zones de mesure) à 7 modalités (NA, NB, ..., TE) et 3 répétitions. Etant donné les zones en parcelle témoin, trois d'entre elles ont été prises au hasard. Cette analyse a pour but notamment de voir si les résultats de la parcelle témoin s'apparentent à d'autres résultats de la parcelle agroforestière.

La seconde : ANOVA n°2

Elle a 2 facteurs (orientation des zones de mesures par rapport à l'arbre, distance de ces zones par rapport au tronc) à 2 et 3 modalités (Nord-Sud, et distance A, B, C) avec respectivement 9 et 6 répétitions. Cette analyse va plus loin pour différencier les variables au sein de la parcelle agroforestière. Les tests SNK permettent de constituer des groupes homogènes de moyennes. A chaque fois, le groupe 1 correspond aux valeurs moyennes les plus élevées, puis 2, puis 3 dans certains cas. L'ensemble des tests statistiques ont été effectués au seuil de confiance 95% ($p < 0,05$) à l'aide du logiciel STATBOX sous Excel.

PARTIE F : RESULTATS

a) Influence des systèmes agroforestiers sur le climat du printemps

Les relevés météorologiques des capteurs C1, C2 et C3 de chacun des sites ont permis de rendre compte des différences journalières et horaires des températures et des humidités relatives moyennes (T_{moy} , HR_{moy}), ainsi que des températures maximales (T_{max}) et minimales (T_{min}) en période printanière.

Le tableau 11 en page suivante permet de comparer les données C1 par rapport à C2 et C3 à partir du nombre de jours (exprimé en pourcentage) où les T_{moy} et T_{max} sont supérieures en C2 et C3, et inversement pour les T_{min} et HR_{moy} . On remarque peu de différences entre C2 et C3 dans l'ensemble lorsqu'on les compare à C1. Concernant cette dernière on s'aperçoit que la majorité des T_{moy} et des T_{max} sont inférieures au-dessous de l'arbre (entre $-0,21^{\circ}\text{C}$ et $-0,50^{\circ}\text{C}$ pour T_{moy} , et $-0,81^{\circ}\text{C}$ et $-1,68^{\circ}\text{C}$ pour T_{max}). Les T_{min} ont quant à elles des valeurs plus élevées en C1 ($+0,30^{\circ}\text{C}$ à $+1,29^{\circ}\text{C}$) dans la plupart des sites. De même pour les HR_{moy} qui peuvent gagner entre $+0,60\%$ et $+3,32\%$ d'humidité sous l'arbre.

De plus, des similitudes apparaissent entre les sites au pas de temps horaire, avec notamment des températures plus douces et une humidité plus importante sous les arbres en heures chaudes. Ainsi, dans la majorité des cas les différences thermiques entre C2 ou C3 et C1 sont maximales entre 11h et 13h (de moins de 1°C à plus de 2°C) tout comme les différences hydrométriques (de moins de 2% à presque 8% selon les sites). Les résultats sont présentés en annexe 3 (Le choix des sites S9 et S11 est dû à leur forte représentation dans les résultats qui suivent).

Tableau 11: Effet microclimatique des arbres perçu au printemps (en bleu les *Tmax adoucis* et en rouge les *Tmin en hausse* pour plus de 50% de jours comparés répondant aux conditions)

			S7	S8	S9	S10	S11	S12
Comparaison des données climatiques relevées par les capteurs aux pieds des arbres et en espace témoin	Tmoy	Pourcentage de jours où Tmoy C3 > Tmoy C1	28%	13%	66%	85%	100%	40%
		Valeur moyenne (Tmoy C1 – Tmoy C3)	-0,24°C	-0,25°C	-0,50°C	-0,31°C	-0,47°C	-0,42°C
	Tmax	Pourcentage de jours où Tmax C3 > Tmax C1	84%	67%	70%	60%	73%	42%
		Valeur moyenne (Tmax C1 – Tmax C3)	-1,35°C	-0,86°C	-1,35°C	-1,07°C	-1,11°C	-1,21°C
	Tmin	Pourcentage de jours où Tmin C1 > Tmin C3	98%	100%	87%	4%	20%	69%
		Valeur moyenne (Tmin C1 – Tmin C3)	+0,88°C	+0,75°C	+1,29°C	+2,85°C	+0,24°C	+0,70°C
	HRmoy	Pourcentage de jours où HR C1 > HR C3	2%	97%	79%	33%	73%	18%
		Valeur moyenne (HR C1 – HR C3)	+2,94°C	+3,32%	+1,24%	+0,81%	+1,57%	+1,60%
	Tmoy	Pourcentage de jours où Tmoy C2 > Tmoy C1	100%	0%	100%	92%	54%	NA
		Valeur moyenne (Tmoy C1 – Tmoy C2)	-0,38°C		-0,46°C	-0,32°C	-0,21°C	NA
Comparaison des données climatiques relevées par les capteurs aux pieds des arbres et aux interlignes	Tmax	Pourcentage de jours où Tmax C2 > Tmax C1	100%	47%	79%	92%	79%	NA
		Valeur moyenne (Tmax C1 – Tmax C2)	-1,68°C	-0,65°C	-0,81°C	-1,25°C	-1,02°C	NA
	Tmin	Pourcentage de jours où Tmin C1 > Tmin C2	56%	100%	0%	8%	97%	NA
		Valeur moyenne (Tmin C1 – Tmin C2)	+0,30°C	+0,68°C		+1,45°C	+0,30°C	NA
	HRmoy	Pourcentage de jours où HR C1 > HR C2	5%	100%	1%	52%	96%	NA
		Valeur moyenne (HR C1 – HR C2)	+0,24%	+2,01%	+0,69%	+0,60%	+1,92%	NA

	Nb de jours comparés
S7	43
S8	60
S9	82
S10	48
S11	71
S12	84

b) Impacts des systèmes agroforestiers sur la production printanière des prairies

B-1 : DEBUT DE PRINTEMPS (P1)

- ANOVA n°1 sur les rendements

Une différence significative des rendements entre zones de mesures des sites S7 et S11 en P1 a été repérée. La figure 21 permet de distinguer les groupes homogènes de moyennes formés par les tests SNK. Aucun lien ne doit être fait entre les groupes du même chiffre présents sur les deux sites (le groupe 1 du site S7 ne correspond pas au groupe 1 du site S11). Cette remarque est valable pour la totalité des résultats qui suivent. Les autres figures construites suivent le même schéma que présenté en figure 21.

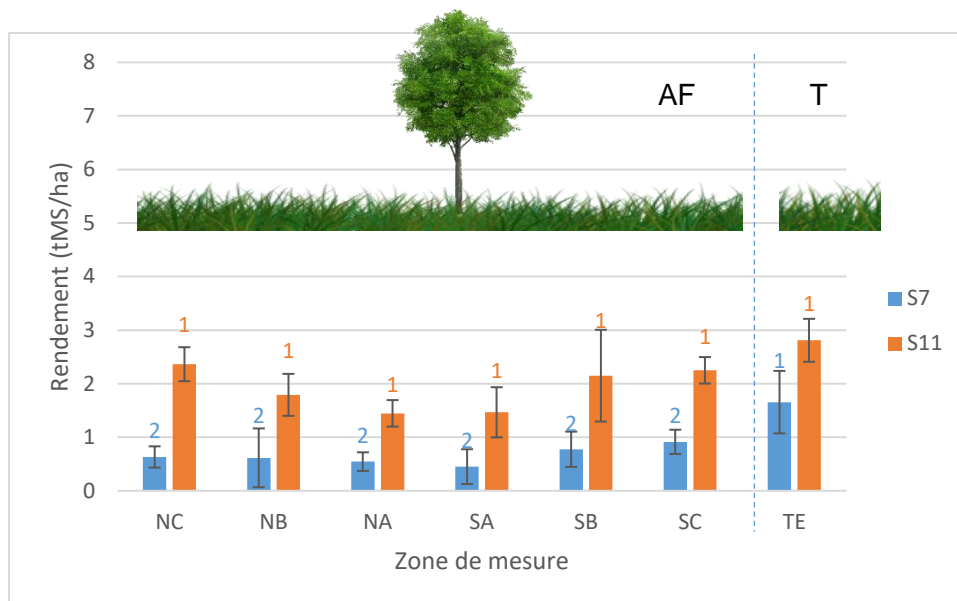


Figure 21: Rendements des zones de mesures en S7 et S11

D'après ces résultats, seul S7 fait clairement état de 2 groupes homogènes de moyennes avec un rendement de la zone TE plus élevés que celles en parcelle agroforestière. Il est de +0,74 tMS/ha par rapport au meilleur rendement des zones de la parcelle AF, à savoir SC (réduction de 26%). Pour le site S11, un seul et unique groupe de moyennes (1) ressort qui peut s'expliquer par la moindre puissance de ce test par rapport à l'analyse des variances ou par les 3 répétitions choisies au hasard dans la parcelle T. Une réduction de 16% est tout de même observée entre le rendement de la zone TE et NC (meilleur rendement en parcelle AF) de S11.

Les autres sites ne présentent pas de différences significatives sur les rendements en cette période mais on peut noter qu'en S12 le rendement de la zone TE est toujours supérieur à ceux des autres zones de la parcelle agroforestière. L'ensemble des rendements moyens par zone et par site en P1 est présenté en annexe 4. La variabilité des rendements pour chaque zone est élevée quel que soit le site en cette période. Les coefficients de variations (CV) ont des valeurs entre 13% et 89%.

○ ANOVA n°1 sur les densités de l'herbe

Aucune différence significative des densités de l'herbe n'a été décelée par les tests statistiques. En revanche, le site S9 montre une différence significative de la hauteur d'herbe entre zones de mesures (figure 22). Dans ce cas, on s'aperçoit que les hauteurs d'herbe les plus élevées sont notamment celles aux pieds des arbres (groupe 1). Elles diminuent lorsqu'on s'éloigne du tronc et celle de la zone TE est intermédiaire (groupe 1 et 2). Entre SA et NC l'écart de hauteur est de 4,8 cm.

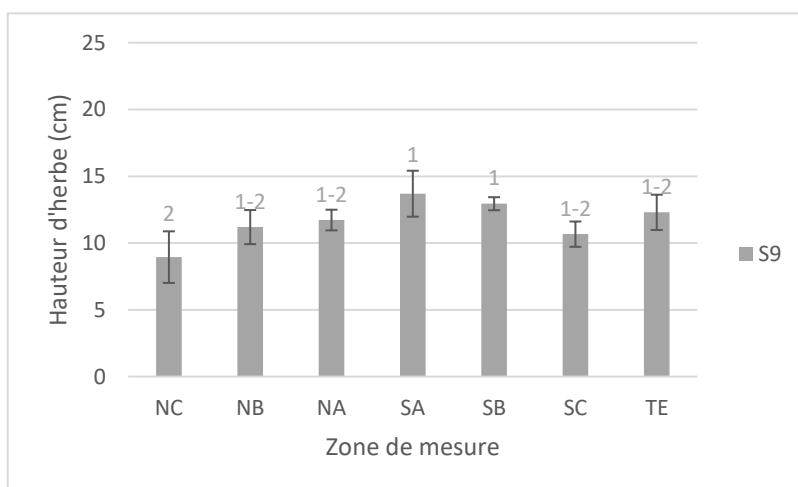


Figure 22: Hauteurs d'herbe pour les zones de mesure en S9

- ANOVA n°2 sur les rendements

Seul le site S9 montre que ses rendements sont significativement influencés par l'orientation des zones de mesures par rapport aux arbres dans la parcelle AF. Aucun autre site montre de significativité pour ce facteur. La figure 23 indique un rendement plus élevé en orientation Sud (+0,72 tMS/ha) que Nord (réduction de 28%).

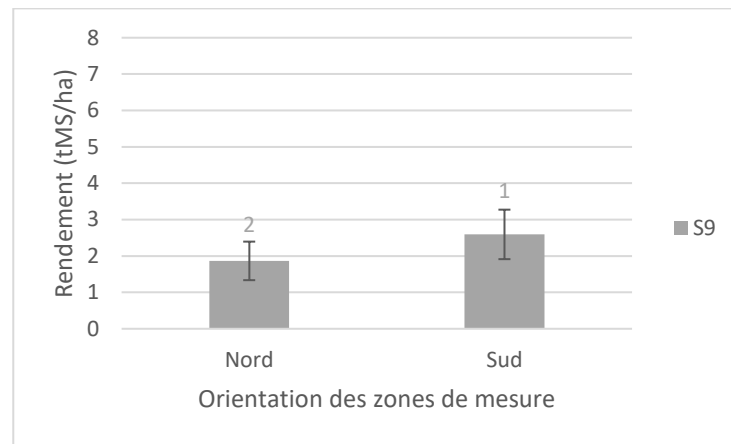


Figure 23: Rendement des zones de mesure en fonction de leur orientation par rapport à l'arbre en S9

Quant à l'effet de la distance des zones à l'arbre, le site S11 est le seul à montrer des différences significatives. La figure 24 montre un rendement réduit de 37% de la distance A par rapport à C. Soit -0,85 tMS/ha. Toutefois, bien que les résultats soient non significatifs S7 fait également part de cette tendance avec une réduction des rendements de distance A de 36% par rapport à la distance C (-0,27 tMS/ha). Des résultats inverses s'observent cependant en S9 et S11.

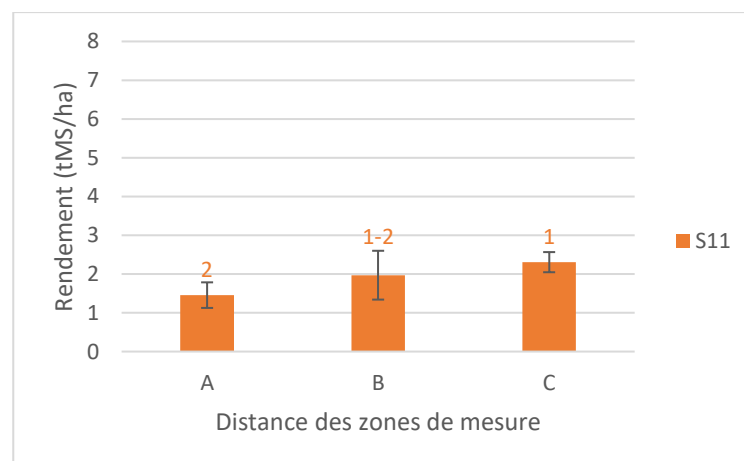


Figure 24: Rendement des zones de mesure en fonction de leur distance par rapport à l'arbre en S11

- ANOVA n°2 sur les densités de l'herbe

Tout comme le test ANOVA n°1 aucune différence significative de densités n'est décelée en fonction de l'orientation et de la distance des zones de mesures par rapport à l'arbre. On remarque toutefois des différences significatives des hauteurs d'herbe pour ces deux facteurs pour les sites S9 et S11 uniquement. Il apparaît ainsi une hauteur réduite au Nord des arbres

de 1,81 cm, et à la distance C par rapport à A 2,9 cm pour le site S9. Situation inverse pour S11 où l'herbe est moins haute aux pieds des arbres par rapport à l'interligne de 1,86 cm (figure 25 et 26).

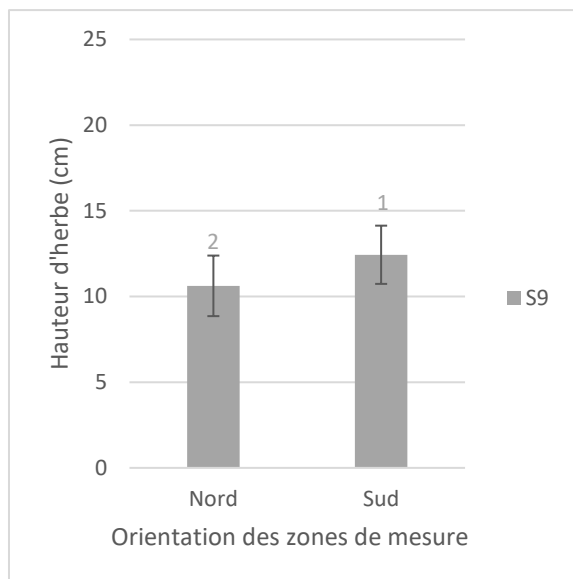


Figure 25: Hauteur d'herbe des zones de mesure en fonction de leur orientation par rapport à l'arbre en S9

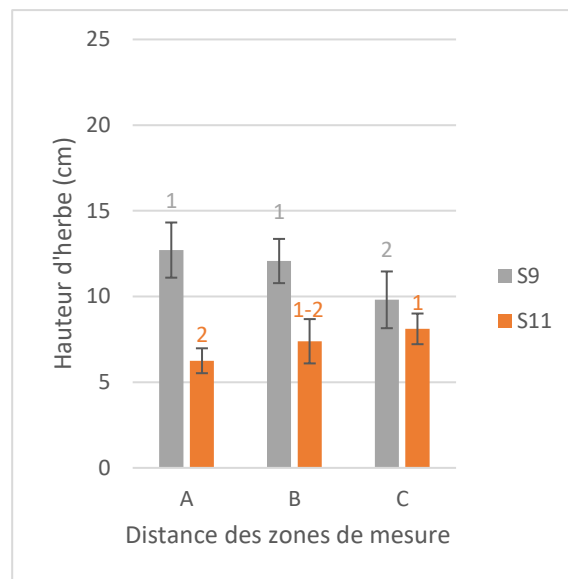


Figure 26: Hauteur d'herbe des zones de mesure en fonction leur distance par rapport à l'arbre en S9 et S11

B-2 : FIN DE PRINTEMPS (P2)

○ ANOVA n°1 sur les rendements

A la deuxième période de prélèvement S11 a été le seul site à montré une différence significative des rendements en fonction des zones de mesures. Comme l'illustre la figure 27, un schéma équivalent à la P1, mais aux différences plus accentuées, apparaît avec des rendements réduits dans les zones proches des arbres, pour augmenter en s'y éloignant et dans la zone TE. Ainsi, SA a un rendement réduit de 47% par rapport à NC (-3,22 tMS/ha) et de 31% par rapport à TE (-1,58 tMS/ha).

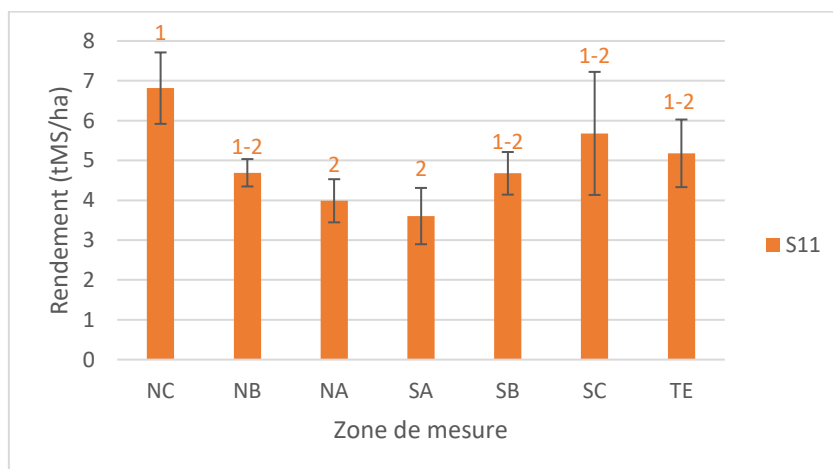


Figure 27: Rendements pour les zones de mesure en S11

Bien que non significatifs, les résultats des sites S8 et S12 suivent cette tendance et montrent en outre des rendements en zone TE toujours supérieurs aux autres zones de la parcelle agroforestière. Par contre, en S7 et S10 les rendements de la zone TE sont inférieurs en tout cas. L'ensemble des rendements moyens pour la période P2 est renseigné pour chaque site et zone de mesure en annexe 5. Il y est également indiqué les CV à partir desquels on remarque des dispersions autour des moyennes de 5% à 41% selon les zones et les sites. Ces CV sont plus faibles qu'en première période de prélèvement.

- ANOVA n°2 sur les rendements

Les sites S9 et S11 ont montré des différences significatives de leurs rendements en fonction de la distance des zones de mesures par rapport à l'arbre. La figure 28 rend compte pour ces deux sites de rendements inférieures en distance A par rapport C. Il est réduit de 28% pour S9 (-1,59 tMS/ha) et de 39% pour S11 (-2,45 tMS/ha).

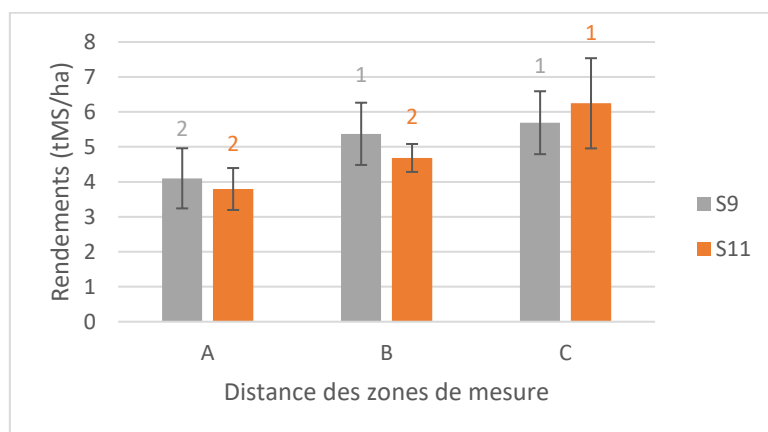


Figure 28: Rendement des zones de mesure en fonction de leur distance par rapport à l'arbre en S9 et S11

Les autres sites ne montrent aucune différence significative de leurs rendements, quel que soit le facteur mais on note des tendances en S7, S8 et S10 inverses aux précédentes.

c) Impacts des systèmes agroforestiers sur la végétation prairiale

C-1 : ESPECES PRAIRIALES DOMINANTES

Dans l'ensemble des sites de l'étude les trois quarts des espèces dominantes sont représentées par 6 espèces ; le Ray-grass anglais (*Lolium perenne*) à 25% (photo 10), l'Agrostis commun (*Agrostis capillaris*) à 14% (photo 9), la Houlque laineuse (*Holcus lanatus*) à 12% (photo 11), le Trèfle blanc (*Trifolium repens*) à 10%, le Pâturin commun (*Poa trivialis*) à 7% et la Houlque molle (*Holcus mollis*) à 7%. L'ensemble des effectifs moyens de ces espèces par zone de mesure ainsi que la totalité des espèces dominantes rencontrées par site sont indiqués en annexes 6 et 7. L'AFC permet de visualiser le positionnement de toutes les espèces dominantes par rapport aux zones de prélèvement selon leurs effectifs moyens (figure 29). On remarque que la zone témoin se distingue assez bien de la parcelle agroforestière sur l'axe 1, et qu'au sein même de cette dernière les zones de distance A et C, et Nord-Sud se différencient un peu sur les 2 axes.



Photo 11: *Lolium perenne*



Photo 10: *Agrostis capillaris*



Photo 9: *Holcus lanatus*

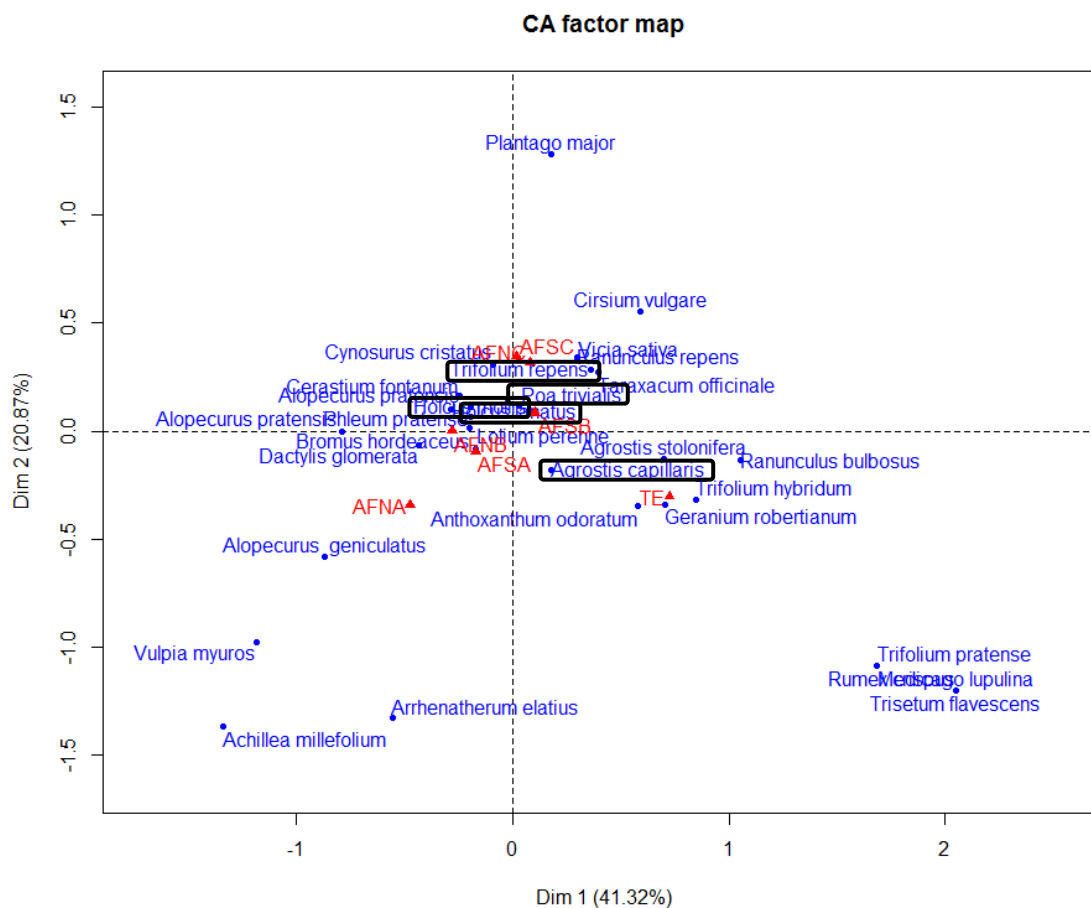


Figure 29: Analyse Factorielle des Correspondances pour la représentation des espèces dominantes rencontrées par rapport aux zones de mesures (les 6 espèces majeures sont encadrées)

Certaines espèces ont nettement été retrouvées sous les arbres (*Vulpia myuros*, *Achillea millefolium*), d'autres au niveau des interlignes (*Plantago major*) et d'autres encore dans la parcelle témoin (*Trifolium pratense*, *Rumex crispus*), mais elles ont la particularité de représenter moins de 1% des espèces dominantes. Si on se concentre sur les 6 espèces majoritaires (figure 30), on s'aperçoit qu'en moyenne :

- *Lolium perenne* constitue 26% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 18% en parcelle témoin, et 32% en zones de distance A contre 21% à la distance C.
- *Agrostis capillaris* représente 13% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 23% en parcelle témoin.
- *Holcus lanatus* représente 13% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 4% en parcelle témoin.
- *Trifolium repens* constitue 10% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 15% en parcelle témoin, et seulement 4% en zones de distance A contre 15% en zone de distance C.
- *Poa trivialis* constitue 6% des espèces dominantes en zones de distance A par rapport au 9% en distance C.
- *Holcus mollis* représente 7% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 3% en parcelle témoin.

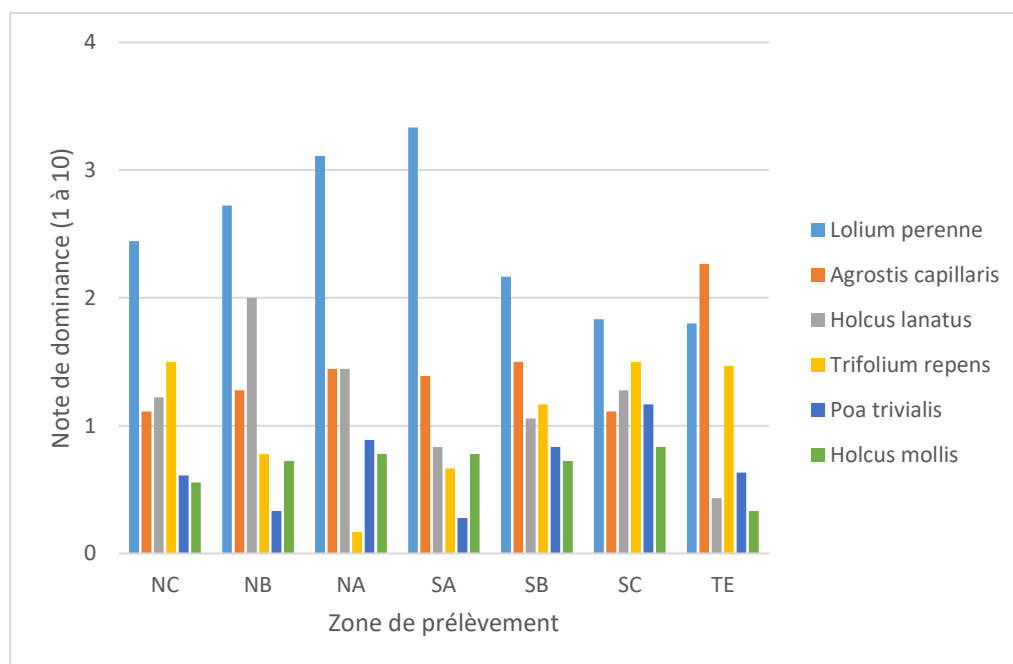


Figure 30: Dominance des principales espèces en fonction des zones de mesure (moyenne sur les 6 sites)

C-2 : INCIDENCES SUR LES FAMILLES DES ESPECES DOMINANTES

D'après le tableau 12, la majorité des sites ont des pourcentages moyens de graminées (G) supérieurs à ceux des légumineuses (L) et des diverses (D) réunis. Seul S10 fait exception en parcelle témoin. S8 ne présente ni L ni D en espèces dominantes que ce soit en parcelle agroforestière ou témoin.

Tableau 12: Proportions moyennes des familles pour chaque site selon les parcelles de l'étude (AF et T)

	S7		S8		S9		S10		S11		S12	
	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T
G	82%	100%	100%	100%	84%	64%	77%	18%	76%	62%	86%	60%
L	18%	0%	0%	0%	8%	22%	15%	54%	13%	32%	6%	26%
D	1%	0%	0%	0%	8%	14%	8%	28%	11%	6%	8%	14%

○ ANOVA n°1 sur les familles d'espèces

Des différences en fonction de la zone de mesure dans les proportions des familles de graminées et de légumineuses notamment, ont été repérées pour les sites S9, S10, S11 et S12. On remarque que pour les graminées (figure 31) les proportions sont plus élevées au plus proche des arbres quel que soit le site, alors que les zones TE appartiennent aux groupes de moyennes les plus faibles. Ainsi en comparaison à NA, TE possède -34% de graminées pour S9, -82% pour S10, -36% pour S11 et -40% pour S12. Les résultats non significatifs du site S7 affichent une tendance inverse.

Les légumineuses (figure 32) et les diverses (figure 33) montrent des tendances inverses à celle des graminées. Là aussi, S12 pour les L puis S9 et S11 pour les D ne laisse apparaître qu'un seul groupe homogène de moyenne pouvant être dû au choix des 3 répétitions choisies

au hasard de la parcelle T. On note toutefois une réduction des proportions de légumineuses en NA par rapport à TE de 86% pour S9, 100% pour S10 et S12. De même avec les D et des proportions réduites de 100% pour S9 et S10, puis de 50% pour S11.

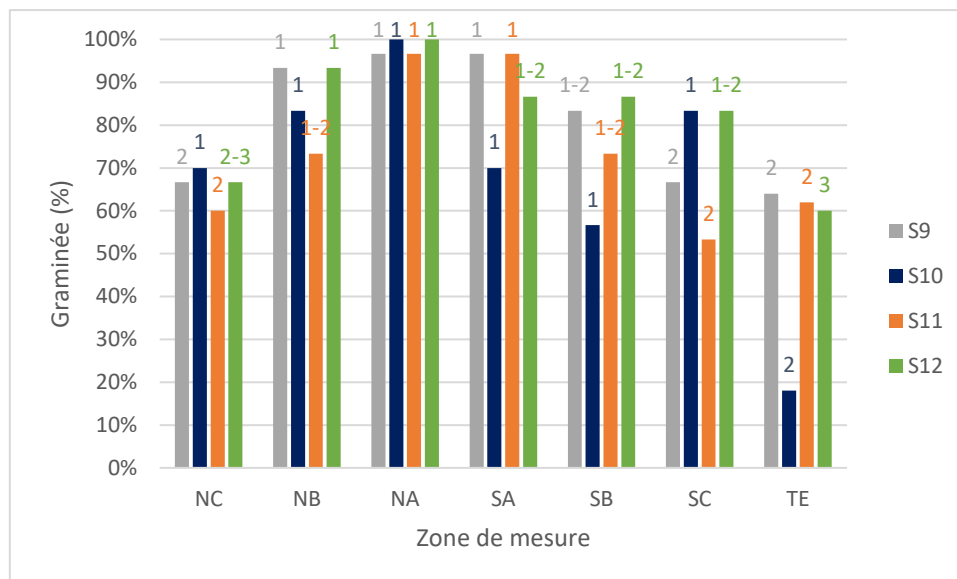


Figure 31: Proportions de graminées en fonction des zones de mesure pour S9, S10, S11 et S12

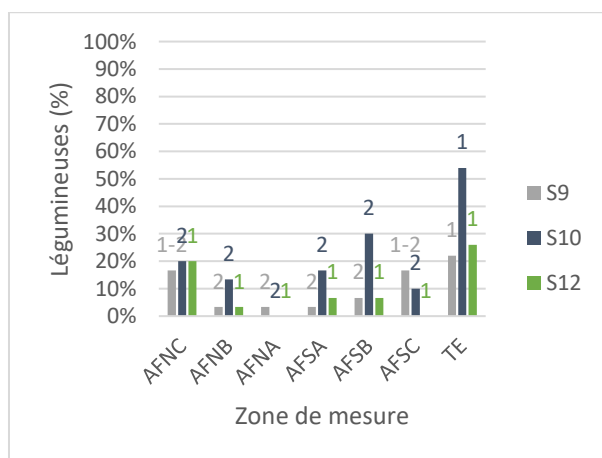


Figure 32: Proportions de légumineuses en fonction des zones de mesure pour S9, S10 et S12

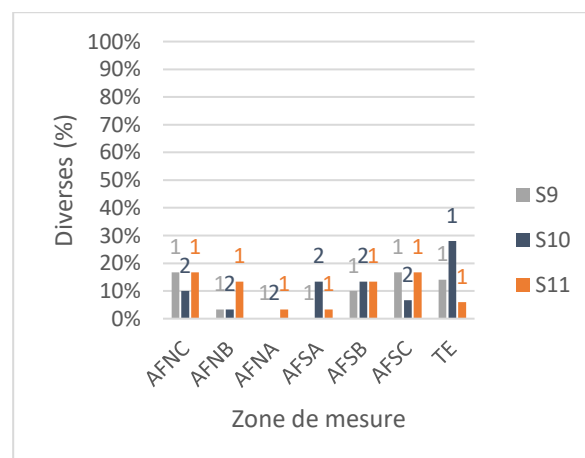


Figure 33: Proportions de diverses en fonction des zones de mesure pour S9, S10 et S11

○ ANOVA n°2 sur les familles d'espèces

Conformément aux précédents résultats, les tests statistiques sur la parcelle agroforestière montrent un effet de la distance à l'arbre sur les proportions des familles (G, L et D) dans le cas des sites S9, S11 et S12. Il n'apparaît pas d'effets significatifs chez les autres sites, et aucune influence de l'orientation des zones par rapport aux arbres n'est décelée. Ainsi entre les zones aux pieds des arbres et celles aux interlignes les proportions de graminées

baissent de 31% pour S9, 41% pour S11 et 19% pour S12. Les légumineuses quant à elles sont réduites à la distance A par rapport à C à hauteur de 82% en S9 et 100% en S11. De même entre ces deux zones, les proportions de diverses réduisent à hauteur de 100% pour S9, 82% pour S11 et 80% en S12. L'ensemble des résultats sur les proportions des familles d'espèces en fonction de l'orientation et de la distance à l'arbre sont indiqués en annexe 8.

C-3 : IMPACTS SUR LES TYPES FONCTIONNELS DE GRAMINEES

Les principaux types fonctionnels (TF) de graminées rencontrés sont les TFA et les TFb dont les proportions dominent que ce soit en parcelle agroforestière ou témoin (tableau 13).

Tableau 13: Proportions des types fonctionnels de graminées par parcelle (AF et T) pour chaque site

	S7		S8		S9		S10		S11		S12	
	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T
TFA	26%	12%	64%	34%	77%	79%	41%	90%	62%	55%	37%	40%
TFB	0%	2%	0%	0%	0%	3%	17%	10%	7%	0%	0%	3%
TFb	45%	72%	30%	66%	23%	18%	33%	0%	32%	45%	63%	57%
TFC	27%	14%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TFD	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TFE	2%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%

○ ANOVA n°1 sur les types fonctionnels de graminées

Des différences significatives entre les proportions des types fonctionnels de graminées A et b apparaissent pour le site S8 uniquement (figure 34). On remarque grâce au test SNK que le TFA est moins présent en zone TE que les zones de la parcelle agroforestière, et inversement pour le TFb. La même tendance s'observe en S7 (de même pour S9 mais uniquement dans le cas du type b). En S8; la zone NA dispose alors de -51% de TFA par rapport à TE alors que la proportion de TFb est réduite de 59% en NA par rapport à TE.

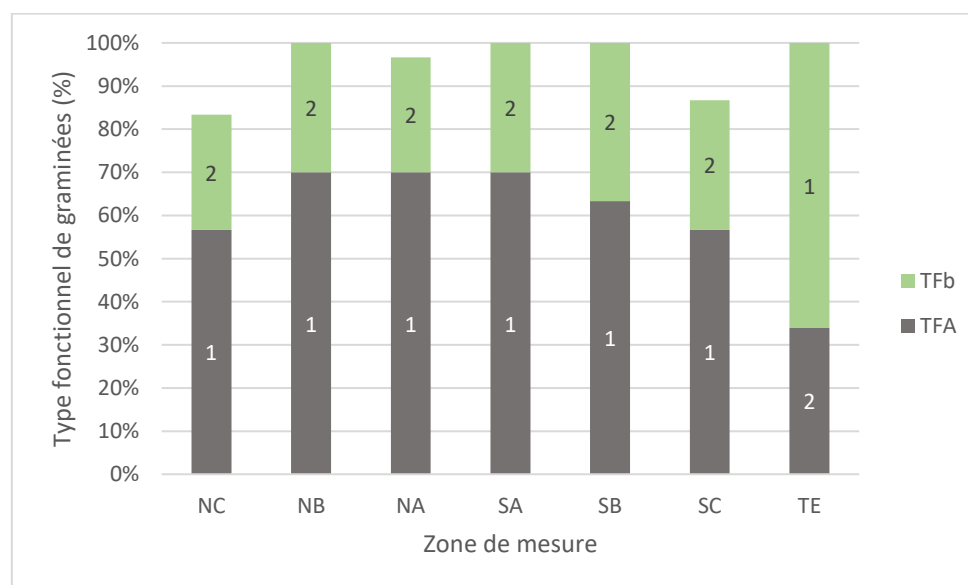


Figure 34: Types fonctionnels de graminées A et b en fonction des zones de mesure pour S8

- ANOVA n°2 sur les types fonctionnels de graminées

Les résultats des tests ANOVA en parcelle agroforestière font cette fois part de différences significatives dans les proportions de TFA et TFb dans le cas du site S9 en fonction de la distance à l'arbre. Les autres sites ne présentent pas de différences significatives quel que soit le facteur malgré que le site S7 affiche les mêmes tendances. Les groupes homogènes de moyennes obtenus à partir des tests SNK informent que plus on tend vers l'interligne plus la proportion des TFA diminue (-38% en distance C par rapport à A), et inversement pour celle des TFb (-90% en distance A par rapport à C).

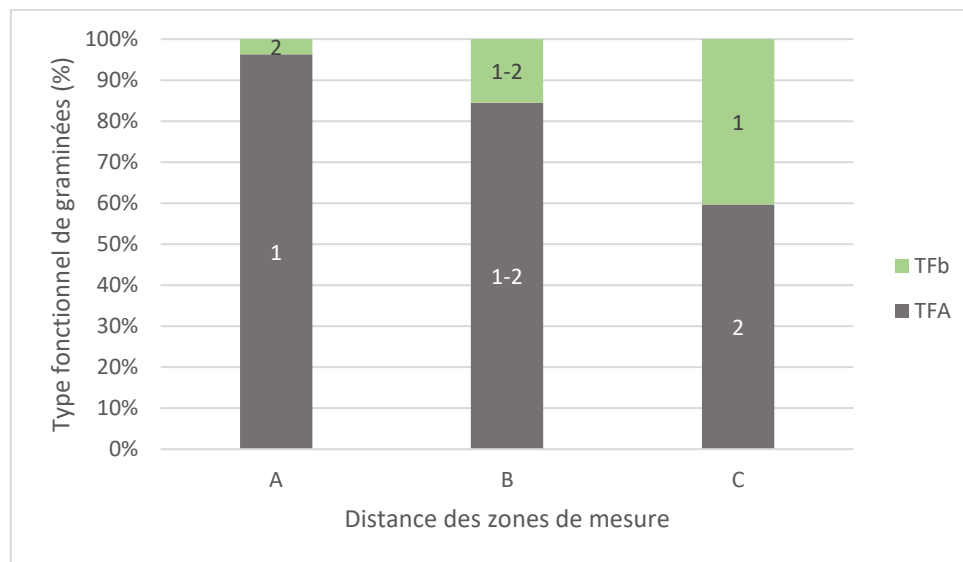


Figure 35: Types fonctionnels de graminées A et b en fonction de la distance des zones de mesure par rapport à l'arbre en S9

Il est à noter des résultats inverses pour les sites S11 et S12 bien qu'ils ne soient pas significatifs (annexe 9).

C-4 : IMPACTS SUR LES STADES PHENOLOGIQUES

Il est traité ici uniquement des stades de développement (SD) des graminées puisque le site 9 a été le seul à montrer une différence notable dans le SD des légumineuses avec des stades 4 (floraison-flétrissement) et 5 (fin de cycle) en parcelle témoin. Tous les sites présentent au sinon des légumineuses en stade 1 (rosette) dans la parcelle agroforestière ou témoin.

Les SD de graminées les plus rencontrés en P2 ont été le stade 3 (SDG3 ; début épiaison) et (SDG4 ; épiaison-floraison). Les graminées de stade (SDG2 ; végétatif) ont en moyenne été plus observés en parcelle agroforestière (hormis S7) comme le montre le tableau 14. Exemple de SDG4 pour la Flouve Odorante en photo 12.

Tableau 14: Proportions des stades de développement observés sur chaque parcelle des sites de l'étude

	S7		S8		S9		S10		S11		S12	
	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T	AF	T
SDG2	0%	9%	4%	0%	31%	10%	22%	0%	41%	0%	25%	0%
SDG3	30%	52%	60%	80%	49%	80%	29%	80%	15%	50%	31%	22%
SDG4	70%	39%	36%	20%	19%	10%	50%	20%	44%	50%	45%	78%



Photo 12: *Anthoxanthum odoratum* au stade épiaison-floraison
(Source : photo personnelle)

○ ANOVA n°1 sur les stades de développement des graminées

Les résultats ont montré des différences significatives des proportions du stade de développement épiaison-floraison (SDG4) selon les zones uniquement du site S9 (figure 36). Suite au test SNK on note que la proportion de SDG4 en zone TE est inférieure aux zones SB et SC (-77%). La même tendance à la hausse de la proportion de SDG4 s'observe sur les sites S7, S8 et S10. Avec le site S9 ces quatre sites montrent également une proportion du stade épiaison (SDG3) supérieure dans la zone TE en tout cas.

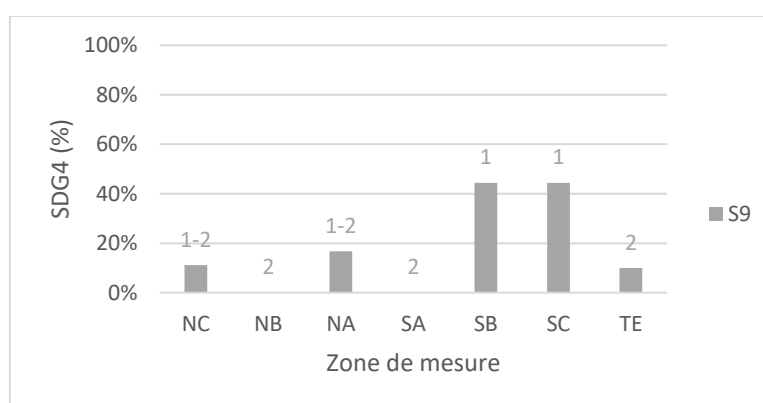


Figure 36: Proportion de stade phénologique épiaison floraison en fonction des zones de mesures pour le site S9

- ANOVA n°2 sur les stades de développement des graminées

Les tests en parcelles agroforestières ont montré un effet significatif du facteur orientation à l'arbre sur les stades début épiaison (SDG3) et épiaison-floraison (SDG4) du site S7 ainsi que sur le SDG4 du site S9. La figure 36 illustre ces résultats et montre que pour ces sites le stade de développement est plus avancé au Sud de l'arbre. Aucune significativité n'a été repérée entre les différents stades pour les autres sites. On peut toutefois relever une proportion de SDG2 plus importante au Nord de l'arbre qu'au Sud dans le cas des S8, S9, S10 (annexe 10).

Seul le site S7 présente une significativité statistique de l'influence du facteur distance à l'arbre sur les SDG3 et SDG4. On note cependant chez tous les sites sauf S10 cette tendance à l'augmentation des proportions en SDG4 vers la distance C. De même, une diminution des proportions en SDG2 s'opère vers cette distance. Seul S12 fait exception. L'ensemble des résultats est présenté en annexe 10 mais à titre d'exemple le cas de S11 est ajouté à la figure 37.

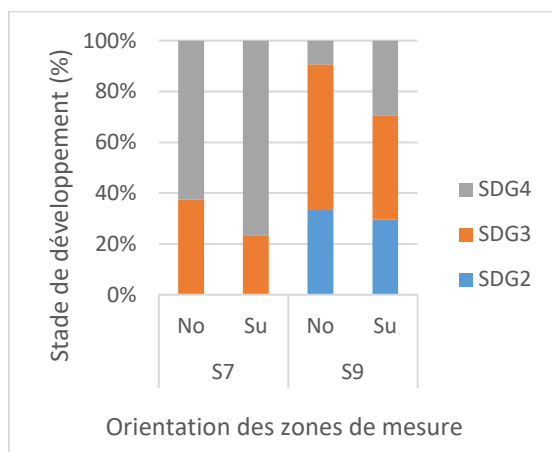


Figure 37: Proportions des stades de développement des graminées en fonction de l'orientation des zones de mesure par rapport à l'arbre pour les sites S7 et S9

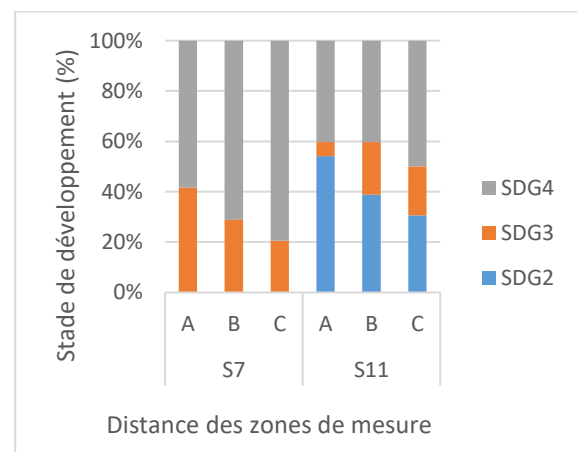


Figure 38: Proportions des stades de développement des graminées en fonction de la distance des zones de mesure par rapport à l'arbre pour les sites S7 et S11

PARTIE G : DISCUSSION

a) Effet microclimatique

Les résultats météorologiques relevés sur nos sites indiquent un effet microclimatique des arbres. On constate avant tout qu'ils permettent notamment de modérer l'amplitude thermique journalière et dans certains cas d'augmenter l'humidité relative de l'air, conformément aux résultats synthétisés par Etienne et Hubert (1987) et Benavides et al., (2009) sur des systèmes agroforestiers Espagnol, Chilien, Californien ou encore Néo-Zélandais. Il semblerait toutefois que la modération de l'amplitude thermique soit plus faible sous les climats océaniques que sous les climats méditerranéens. Par exemple, les températures minimales peuvent augmenter de plus de 5°C en système agroforestier sous climat méditerranéen (Parker et al., (1981) dans Etienne et Hubert, (1987)).

On met également en évidence pour quelques sites des températures plus fraîches aux heures chaudes et plus chaudes aux heures froides, en accord avec les travaux de Percival et al., (1984) dans Benavides et al., (2009).

Les données climatiques relevées par les capteurs situés aux interlignes des arbres dans la parcelle agroforestière ont montré dans la plupart des sites des similitudes avec ceux installés en parcelle témoin. Cette information est essentielle tant la croissance des espèces prairiales dépend de la température au printemps. L'effet que cela a pu entraîner sur la végétation (types fonctionnels de graminées et stades de développement) est détaillé plus bas.

b) Impacts sur la production printanière

A la première période de prélèvements fin Avril-début Mai, alors que les arbres fruitiers ont plus ou moins entamé leur floraison, il était attendu moins de différence de rendements entre ceux de la parcelle agroforestière et ceux de la parcelle témoin en raison d'une plus faible compétition pour la lumière. Pourtant, c'est en P1 qu'il a été observé le plus souvent un rendement de la zone TE supérieur aux autres zones de la parcelle agroforestière (S7, S11, S12). Toutefois, seul le site S7 fait statistiquement apparaître une différence significative à l'avantage de la zone TE.

En seconde période de prélèvements, sachant que la production printanière représente la grande majorité de la production annuelle, il était à prévoir des rendements plus faibles en parcelle agroforestière qu'en parcelle témoin, conformément aux travaux menés en Nouvelle-Zélande notamment (Benavides et al., 2009). La compétition pour la lumière est plus importante en raison des feuillages bien installés pour tous les arbres de l'étude.

Pourtant, bien que les résultats des tests ANOVA soient non significatifs, seuls les sites S8 et S12 ont montré un rendement plus élevé en zone témoin qu'en zones agroforestières. Les autres sites ont dans l'ensemble des rendements plus ou moins équivalents en zone TE que dans les zones à la distance B ou C des arbres.

Ces différences par rapport aux résultats obtenus en Nouvelle-Zélande sont certainement dues au fait que les dispositifs agroforestiers divergent sur plusieurs points. Tout d'abord, les sites sur lesquels ont été effectuées les mesures sont tous des prés-vergers, alors que l'agroforesterie et l'élevage de Nouvelle-Zélande sont associés dans le cadre de systèmes

sylvopastoraux. Cela implique des essences d'arbres diverses, forestiers et parfois à feuillages persistants. Ensuite, les densités d'arbres sur les parcelles de l'étude sont en majorité plus faibles que celles en système sylvopastoral. La transmission lumineuse semble ainsi plus importante dans le cadre de l'étude, ce qui pourrait en partie expliquer ce peu de différences dans les productions des parcelles témoins et agroforestières.

Ces résultats sont également influencés par le peu de répétitions sur chaque parcelle et par la forte variabilité observée en parcelle agroforestière entre espaces de mesures. Cela a mis en évidence l'intérêt de faire des tests ANOVA plus puissants sur la parcelle agroforestière par leurs nombres de répétitions et de modalités.

Les résultats des tests au sein de la parcelle agroforestière sont plus en conformité avec ceux de la bibliographie lorsqu'il est question de l'effet de la distance à l'arbre sur la production. En effet, en accord avec les travaux de Gilchrist et al., (1993) dans Benavides et al., (2009), il a notamment été relevé pour les deux périodes de prélèvement des rendements plus importants sur la parcelle agroforestière aux distances les plus éloignées des arbres. Les rendements sont réduits en distance A de 30-40% par rapport à C quel que soit la période. Les différences de rendements dans les autres sites, bien que non significatifs, doivent amener à nuancer l'interprétation des résultats.

Aucune différence, hormis dans le cas du site S9 en P1, n'a été repérée entre les rendements des zones au Sud et au Nord des arbres. Une nouvelle fois, les caractéristiques des plantations semblent être le principal élément explicatif puisque les distances interlignes et intralignes de plantation diffèrent peu dans le cas de l'étude. Ce résultat en S9 reste conforme à ceux de Douglas et al., (2001) dans Benavides et al., (2009) et montre une réduction de la production au Nord des arbres (coté ombragé).

c) Caractéristiques de la végétation

La détermination des espèces prairiales dans les deux parcelles expérimentales de chaque site a permis d'apprécier la tolérance à l'ombre de certaines espèces. Le Ray-grass anglais (*Lolium perenne*), la Houlique laineuse (*Holcus lanatus*) et la Houlique molle (*Holcus mollis*) ont en moyenne été plus relevées en parcelles agroforestières qu'en parcelles témoins.

Ces résultats pour le Ray-grass anglais s'opposent à ceux avancés par Benavides et al., (2009) en systèmes sylvopastoraux. Alors que ces auteurs la qualifient d'espèce peu tolérante à l'ombre, le Ray-grass anglais a dans notre étude été davantage retrouvée en zones ombragées qu'en zones ensoleillées. C'est d'ailleurs à proximité des arbres qu'elle a les proportions les plus élevées. A l'inverse, l'Agrostis commun (*Agrostis capillaris*) est une espèce davantage présente en zone TE comparée aux zones AF. D'après Devkota et al., (1997a) in Benavides et al., (2009) cette espèce est tolérante à l'ombre mais seulement en conditions d'ombrage modéré.

A la différence de l'Agrostis commun le Ray-grass anglais est une espèce résistante au piétinement (Inter'Herb, 2016). Cela pourrait en partie expliquer sa forte présence sous les arbres dans l'hypothèse où les animaux trouvent habituellement refuge sous leurs houppiers.

Ces observations ont abouti dans le cas des sites S8 et S9 à des proportions du type fonctionnel A (Ray-grass anglais, Houlique laineuse) plus présents dans les zones ombragées qu'ensoleillées, à l'inverse des graminées du type fonctionnel b (Agrostis commun). La

tendance globale va dans ce sens pour ces deux types fonctionnels. Malgré la non significativité statistique des autres résultats, c'est en effet dans les zones témoins, au Sud et à la distance C que l'on observe dans la plupart des cas le type b.

Le Trèfle blanc (*Trifolium repens*) apparaît comme étant une espèce moins tolérante à l'ombre avec des proportions plus élevées en parcelles témoins et équivalentes aux zones de la distance C des arbres. Ces derniers résultats sont en accords avec les observations faites en systèmes sylvopastoraux de Nouvelle-Zélande (Benavides et al., 2009).

Les observations faites sur les stades de développement ont permis, en accord avec Peri et al., (2007), de montrer qu'un ralentissement de la phénologie des espèces pouvait s'établir sous les arbres. C'est en effet dans les zones plus ombragées que l'on a pu relever le plus de stades végétatifs et le moins de stade épiaison-floraison dans l'ensemble des sites (hormis pour le site S9 qui indique une différence significative entre les stades épiaison-floraison mais à la proportion plus faible en zone témoin). Ce ralentissement pourrait éventuellement permettre en certaines conditions un allongement de la durée du pâturage en été comme cela peut être le cas en région méditerranéenne (Dupraz et Liagre, 2008).

Il est intéressant de croiser cette information avec celle sur les types fonctionnels. A la deuxième période de prélèvement les graminées de type A auraient dû toutes atteindre le stade floraison selon les données de températures calculées. D'après Cruz et al., (2010) elles atteignent ce stade à partir de 900°Cj. Pourtant aux alentours des 1200°Cj (deuxième période de mesures) une distinction dans le stade phénologique a pu s'observer selon la distance des zones à l'arbre. Ainsi, la proportion de stade épiaison-floraison semble augmenter avec la distance à l'arbre.

PARTIE H : LIMITES ET PERSPECTIVES

La principale limite de l'étude qui doit conduire à nuancer l'interprétation des résultats est le faible nombre de répétitions rendant discutable l'interprétation des premiers tests ANOVA (n°1). Il semble néanmoins compliqué d'augmenter le nombre d'espaces de mesures dans les parcelles agroforestières au vu des contraintes engendrées par les mises en défens pour les agriculteurs. La diversité des réponses aux différentes variables (rendements, familles d'espèces, etc.) n'a pas permis de créer un référentiel commun à tous les sites, mais il serait intéressant d'élaborer une typologie en fonction de chaque grande famille de variables (productives et qualitatives) une fois la deuxième année du projet terminée.

Le changement climatique impacte également les arbres fruitiers par l'avancement des dates de floraison, y compris dans les régions de l'Ouest comme en Anjou (Legave, 2009). L'installation du feuillage en prés-vergers est susceptible d'apparaître plus tôt et devra sans doute être suivi à l'avenir pour interpréter au mieux les productions de début de printemps. Ces effets dépendent toutefois des variétés et de leurs périodes de foliaison.

Pour l'aspect technique, la fiabilité des mesures des hauteurs d'herbe au-delà de 10 cm doit conduire à l'utilisation d'autres outils de mesures en fin de printemps. Le mètre par exemple, moins précis sous les 10 cm serait plus adapté pour les mesures en fin de printemps. Avec six mesures dans chaque quadrat, l'herbomètre tasse peu à peu l'herbe et indique une hauteur nettement inférieure à celle observée à l'œil nu, ce qui peut conduire à biaiser les résultats de densités.

Au vu de l'ensemble des résultats obtenus, il ressort deux sites sur lesquels il serait opportun de considérer des analyses en laboratoire de la valeur alimentaire de l'herbe, afin d'approfondir les résultats sur les modifications de la qualité de la végétation par l'arbre ; ce sont les sites S9 et S11. De plus, des analyses de sols et notamment de leur profondeur pourront être envisagées : d'une part pour en connaître les changements dans la structure et la texture s'ils existent, et d'autre part pour juger de la compétition racinaire déterminante dans l'élaboration des rendements.

Enfin, grâce à la base de données E-FloraSys les services environnementaux des espèces végétales rencontrées pourraient être renseignés et ainsi informer de l'impact des arbres sur l'environnement de chacun des six sites.

CONCLUSION

Produits du terroir inscrits au patrimoine français, cidres, poirés, jus et autres produits issus de l'activité cidricole française, ont permis de réaliser cette étude au cœur des prés-vergers, premier dispositif agroforestier de France. Dans les régions du Nord et de l'Ouest de la métropole où se concentrent ces pratiques, il a pu être analysé les impacts des arbres sur le potentiel de production printanier des prairies, dans la volonté de participer à la réflexion de systèmes herbagers plus résilients au changement climatique. Ces résultats viennent enrichir les connaissances des acteurs du secteur agricole sur le sujet, en partie perdues avec le savoir-faire ancestral.

Les résultats montrent une hétérogénéité dans les réponses des prairies à la présence des arbres, mais laissent tout de même apparaître certaines tendances.

Ainsi, dans l'ensemble de nos systèmes, les rendements les plus faibles sont obtenus au plus près des arbres là où la compétition pour les ressources entre les deux couverts, notamment pour la lumière, est la plus intense. Les rendements les plus élevés se partagent en général les zones les plus ensoleillées (zones témoins et interlignes des parcelles agroforestières). Il n'est pas rare cependant d'obtenir des rendements inférieurs en zone témoin par rapport aux zones des interlignes, voire des zones intermédiaires (de distance B). Ces résultats doivent toutefois être replacés dans leurs contextes, avec notamment des zones témoins parfois peu représentatives de la prairie. Ces observations valent à la fois pour les mesures effectuées en début et en fin de printemps et montrent une certaine amplification du phénomène pour la deuxième période de relevés. Il est probable que cela soit dû à de plus fortes compétitions pour les ressources du fait d'importants besoins des arbres au cours de la formation des fruits.

La qualité de la végétation nécessiterait des analyses plus précises pour en déterminer la composition chimique et en tirer des conclusions. Néanmoins, la détermination des espèces dominantes et de leurs stades phénologiques ont permis d'apprécier la valeur alimentaire des prairies en fin de printemps et de formuler quelques hypothèses sur son évolution. Il ressort tout d'abord de ces résultats une tendance à l'amoindrissement de la proportion de légumineuses (*Trifolium repens* nettement dominantes) en zones ombragées et principalement sous les arbres où elles sont quasiment inexistantes. C'est donc aux interlignes et dans les zones témoins qu'on constate la proportion la plus élevée. Quant aux graminées, si leur proportion moyenne est plus élevée en zones ombragées, deux réponses différentes sont déterminées à partir desquelles on peut supposer l'implication à la fois de la tolérance à l'ombre des espèces et de leur résistance au piétinement. Cela pourrait participer à l'explication de la forte présence de *Lolium perenne* sous les arbres malgré sa faible tolérance à l'ombre.

Un effet de ralentissement de la phénologie des graminées prairiales a également pu être observé dans certains cas, malgré une diversité élevée de réponses entre les sites expérimentaux. Ces résultats s'illustrent notamment sous les arbres, par des relevés de stades de développement moins avancés, alors que les graminées concernées, de type A (phénologie précoce) n'avaient toujours pas atteint le stade floraison à la deuxième période de mesures. Ces résultats sont intéressants dans l'éventuelle perspective d'un allongement de la durée du pâturage en été. Compte tenu des données météorologiques obtenues, il est possible de parler d'un effet microclimatique, y compris sous le climat océanique de l'étude.

Les résultats montrent toute la difficulté de parler de tendances générales, en raison du grand nombre de facteurs à prendre en compte et qui n'ont pas pu être abordés dans le cadre de cette étude (texture des sols, leur structure et leur profondeur, etc.). Toutefois, des tendances significatives se dégagent qui justifieraient de continuer la démarche afin de bénéficier de plus amples données, dans divers contextes pédoclimatiques et agroforestiers. Cela renforcerait les connaissances dans une perspective de conseil sur la valorisation de ces surfaces à des éleveurs souhaitant sécuriser leurs systèmes herbagers face au changement climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agreste (2010). Les exploitations ayant leur siège en France métropolitaine. [en ligne] Disponible sur http://recensement-agricole.agriculture.gouv.fr/index.php?module=fiche&metier=frontoffice&geo_id=2&the_id=6&cha_id=2 Consulté le 22.02.2016.

Agreste (2015a). Les productions animales. Mémento 2015. [en ligne]. Disponible sur <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memo15animal.pdf> Consulté le 23.02.2016.

Agreste (2015b). GraphAgri France 2015. Produits agroalimentaires. Productions animales. [en ligne]. Disponible sur <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/publications/graphagri/article/graphagri-france-2015> Consulté le 23.02.2016.

Agreste, (2016). Statistique agricole annuelle. Productions végétales. Surfaces, productions, rendements des cultures fourragères, résultats 2013 définitifs et 2014 définitifs. [en ligne]. Disponible sur <http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/statistique-agricole-annuelle-saa/> Consulté le 23.02.2016.

AGROOF (2016a). PARASOL 2016/2018. Etude d'impact du microclimat agroforestier adulte en systèmes d'élevage ovin. [en ligne] Disponible sur http://www.agroof.net/agroof_dev/parasol.html Consulté le 17.02.2016.

AGROOF (2016b). ARBELE 2016/2018. L'ARBre dans les exploitations d'ELEVage herbivore : des fonctions et usages multiples. [en ligne] Disponible sur http://www.agroof.net/agroof_dev/arbele.html Consulté le 17.02.2016.

AGROOF (2016c). AGFORWARD. AGroFORestry that Will Advance Rural Development. [en ligne] Disponible sur http://www.agroof.net/agroof_dev/agroof_agforward.html Consulté le 17.02.2016.

Baumont R., Aufrère J., Meschy F., (2009). La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de cultures, de récolte et de conservation. Fourrages, n°198, p153-173.

Baumont R., Plantureux S., Farrié J.P., Baumont F., Michaud A., Pottier E., (2011). Prairies permanentes. Des références pour valoriser leur diversité. Paris : Institut de l'Elevage.

Bélouard T., Coulon F., (2002). Trees outside forests : France. In Trees outside forests. Towards a better awareness. Part two. Trees outside forests, transmitting a universal lore. Bellefontaine R. FAO conservation guide, Food and Agriculture Organization, n°35. International Cooperation Centre on Agrarian Research for Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Benavides R., Douglas G-B., Osora K., (2009). Silvopastoralism in New Zealand : review of effects of overgreen and deciduous trees on pasture dynamics. Agroforestry Systems, n°76, p327-350.

Borrell T., Dupraz C., Liagre F., (2005). Economics of silvoarable systems using LER approach. INRA Montpellier. [en ligne] Disponible sur http://www.agroof.net/agroof_dev/documents/safe/Economics_silvoarable_systems_LER_approach.pdf Consulté le 17.04.2016.

Brisson N., Levrault F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

Callaway R.M., (1997). Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. Oecologia, n°112, p143-149.

Carrère P., Pontes L. da S., Andueza D., Louault F., Rosseel D., Taini E., Pons B., Toillon S., Soussana J-F., (2010). Evolution de la valeur nutritive de graminées prairiales au cours de leur cycle de développement. Fourrages, n°201, p27-35.

Cheveau L., (2016). L'agroforesterie progresse dans le monde. Sciences et Avenir, Août 2016. [en ligne] Disponible sur <http://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/agriculture/20160803.OBS5746/l-agroforesterie-progresse-dans-le-monde.html> Consulté le 02.09.2016.

CIRAD, GRET (Groupe de recherche et d'échanges technologiques), France-MAE (2002). Mémento de l'agronome. Montpellier, France : Cirad, 1691p.

Cruz P., Theau J-P., Lecloux E., Jouany C., Duru M., (2010). Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multitraits. Fourrages, n°201, p11-17.

Defrance P., Delaby L., Seuret J-M., (2004). Mieux connaître la densité de l'herbe pour calculer la croissance, la biomasse d'une parcelle et le stock d'herbe disponible d'une exploitation. Renc. Rech. Ruminants, n°11, p291-294. [en ligne] Disponible sur <http://www.valacta.com/FR/Nos-publications/Documents/Mieux%20conna%C3%AAtre%20la%20densit%C3%A9%20de%20l%E2%80%99herbe%20pour%20calculer%20la%20croissance,%20la%20biomasse%20d%E2%80%99une%20parcelle%20et%20le%20stock%20d'herbe.pdf> Consulté le 16.02.2016.

Desarmenien D., Benoit M., Devun J., (2013). Evaluation de l'impact des conditions climatiques de 2011 sur l'élevage herbivore français. Voies d'adaptations proposées et mises en œuvre par les éleveurs. Institut de l'Elevage, Département techniques d'élevage et environnement, Productions de viande.

Den-Herder M., Burgess P., Mosquera-Mosada M.R., Herzog F., Hartel T., Upson M., Viholainen I., Rosati A., (2015). Preliminary stratification and quantification of agroforestry in Europe. Milestone Report 1.1 for EU FP7 AGFORWARD Research Project (613520).

Devkota N-R., Kemp P-D., Valentine I., Hodgson J., (2000). Shade tolerance of pasture species in relation to deciduous tree, temperate silvopastoral systems. Agronomy N. Z., n°30, p101-107.

Dupraz C., Burgess P., Gavaland A., Graves A., Herzog F., Incoll L., Jackson N., Keesman K., Lawson G., Lecomte I., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Palma J., Papanastasis V., Paris P., Pilbeam D., Reisner Y., Vincent G., Werf Van der W., (2005). Synthesis of the Silvoarable Agroforestry For Europe project. INRA-UMR System Editions, Montpellier, 254p.

Dupraz C., Liagre F., (2008). Agroforesterie. Des arbres et des cultures. France agricole, 2ème édition, Paris.

Durand J.L., Lorgeou J., Picon-Cochard C., Volaire F. ; 2013. Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. Actes des journées de l'AFPF, p49-58.

Duru M., Hossard L., Martin G., Theau J-P., (2009). Une méthode générique d'évaluation de la valeur d'usage agricole des prairies permanentes à l'échelle du système fourrager. Renc. Rech. Ruminants, n°16, p349-352.

Etienne M., Hubert D., (1987). Relations herbe-arbre : état des connaissances. Fourrages, n°99992, p153-164.

Farrel J.G., Altieri M.A., (1995). Chapter 12. Agroforestry systems. In Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. Altieri M.A. Second edition : Westview Press.

Faïq C., Fuzeau V., Cahuzac E., Allaire G., Therond O., Bortzmeyer M., (2013). Etudes et documents. Les prairies permanentes : évolution des surfaces en France. Analyse à travers le Registre Parcellaire

Graphique. Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, n°96.

Fernandez M-E., Gyenge J., Licata J., Schlichter T., Bond B-J., (2008). Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. *Agroforestry Systems*, n°74, p185-197.

Fondation Goodplanet (2014). Action Carbone Solidaire. Agr'eau : agroforesterie et eau, bassin Adour-Garonne – France. [en ligne] Disponible sur <http://www.goodplanet.org/wp-content/uploads/2014/05/Fiche-projet-Agreau-V2.pdf> Consulté le 27.05.2016.

GIEC (2013). Résumé à l'intention des décideurs. Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker T.F, Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. et Midgley P.M.]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (Etat de New York), Etats-Unis d'Amérique.

Guillou (2013). Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement. [en ligne] Disponible sur http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Agroecologie_-_Rapport_Guillou_2013_cle0618d5.pdf Consulté le 12.04.2016.

Hentgen A., (1990). Les ressources fourragères en France : diversités régionales. *Etudes Recherches Systèmes Agraires Développement*, n°17, p 147-158.

Houssin B., Jeulin T., (2005). *Eléments de physiologie et les outils de gestion du pâturage*. Guide l'herbe, Edition 2005, n°37.

Huyghe C., (2009). La multifonctionnalité des prairies en France. II. Conciliation des fonctions de production et de préservation de l'environnement. *Cahiers Agricultures*, n°18 (1), p7-16.

Inter'Herb (2016). Diagnostic de prairies. Fourrages Mieux. [en ligne] Disponible sur http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Livret_interherbe.pdf Consulté le 10.09.2016.

Institut National Agronomique, Département AGER (2003). Les prairies. [en ligne] Disponible sur <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/document/phytotecnique/pdf/prairies.pdf> Consulté le 02.04.2016.

Jeangros B., Amaudruz M. (2005) : "Dix ans d'observations sur la phénologie des prairies permanentes en Suisse romande", *Revue Suisse Agric.*, n°37 (5), p201-209.

Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhes J., Hilal M. et Wavresky P., (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne]. Disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>. Consulté le 21.07.2016.

Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P, Louarn G., Naudin C., Pelzer E., (2014). Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques*, n°40, p1-24.

Legave J-M. ; 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ? *Innovations Agronomiques*, n°7, p165-177.

Lemaire G., Pflimlin A., (2007). Les sécheresses passées et à venir : quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers ? *Fourrages*, n°190, p163-180.

Leveau J-M., (2005). La fertilisation azotée des prairies. Le moteur de la prairie. Guide l'herbe, Edition 2005, n°16.

Liagre, F., Santi, F. and Vert, J., (2012). L'agroforesterie en France : intérêts et enjeux. Centre d'études et de perspectives : Analyse. n°37 – Janvier 2012. 4p.

Lopes L.B., Eckstein C., Pina D.S., Carnevalli R.A., (2016). The influences of trees on the thermal environment and behavior of grazing heifers in Brazilian Midwest. Tropical Animal Health Production, p1-7.

Mauchamp L., Gillet F., Mouly A., Badot P-M., (2012). Les prairies : biodiversité et services écosystémiques. Conseil national des appellations d'origine laitières, Presses universitaires de Franche-Comté, 130p, Besançon.

Météo France (2016). Le climat futur en France (Rapport Jouzel 2014). [en ligne] Disponible sur <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-climat-futur-en-france> Consulté le 03.03.2016.

Montero M-J., Moreno G., (2004). Light availability for understory pasture in Holm-oak dehesas. [en ligne] Disponible sur <http://www1.montpellier.inra.fr/safe/publications/papers/Light%20availability%20for%20understory%20pasture%20in%20Holm-oak%20dehesas.pdf> Consulté le 08.03.2016.

Morand-Fehr P., Doreau M., (2001). Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. INRA Prod. Anim., n°14, p15-27.

Moreau J-C., Ruget F., Ferrand M., Souverain F., Poisson S., Lannuzel F., Lacroix B., (2008). Prospective autour du changement climatique : adaptation des systèmes fourragers. Ren. Rech. Ruminants, n°15, p193-200.

Mosquera-Losada M-R., Moreno G., Pardini A., McAdam J.H., Papanastasis V., Burgess P-J., Lamersdorf N., Castro M., Liagre F., Rigueiro-Rodriguez A., (2012). Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. Advances in Agroforestry, Volume n°9, p285-312.

Noury J-M., Fourdin S., Pauthenet Y., (2013). Systèmes d'élevage et changement climatique : perceptions d'éleveurs et stratégies d'adaptation aux aléas. Fourrages, n°215, p211-219.

Obrador J-J., Moreno G., (2004). Soil nutrient status and forage yield at varying distances from trees in four dehesas in Extremadura, Spain. [en ligne] Disponible sur <http://www1.montpellier.inra.fr/safe/publications/papers/Soil%20nutrient%20status%20and%20forage%20yield%20at%20varying%20distances%20from%20trees%20in%20four%20dehesas%20in%20Extremadura,%20Spain.pdf> Consulté le 09.03.2016.

Peri P-L., Varella A-C., Lucas R-J., MOOT D-J., (2001). Cocksfoot and lucerne productivity in a *Pinus radiata* silvopastoral system : a grazed comparison. Proceedings of the New Zealand Grassland Association, n°63, p139-147.

Peri P-L., Lucas R-J, Moot D-J., (2007). Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. Agroforestry Systems, Volume 70, p63-79.

Peri P-L., Bahamonde H-A., Lencinas M-V., Gargaglione V., Soler R., Ormaechea S., Pastur G-M., (2016). A review of silvopastoral systems in native forests of *Nothofagus antarctica* in Southern Patagonia, Argentina. Agroforestry Systems.

Pervanchon F., Blouet A., (2002). Lexique des qualificatifs de l'agriculture. Courrier de l'environnement de l'INRA, n°45, février 2002.

Pflimlin A., (2013). Evolution des prairies et des systèmes d'élevage herbagers en Europe : bilan et perspectives. Fourrages, n°216, p275-286.

Pierre P., Guibert S., Lemoine A., Bulot N., Blin B., Breton D., Delagarde R., Coutard J.P., Gayet J.L., Bernard C., (2012). Référentiel de production des prairies en Pays de la Loire. [en ligne]. Disponible sur <http://www.paysdelaloire.chambagri.fr/pages-hors-menu-internet/publications/detail-publication-horiz/actualite/referentiel-de-production-des-prairies-en-pays-de-la-loire.html> Consulté le 28.01.2016.

Plantureux S., Carrere P., Pottier E., (2012). La prairie permanente : nouveaux enjeux, nouvelles définitions ? Fourrages, n°211, p181-193.

Pottier E., D'hour P., Havet A., Pelletier P., (2001). Allongement de la saison de pâturage pour les troupeaux allaitants. Fourrages, n°167, p287-310.

Pottier E., Michaud A., Farrié J-P., Plantureux S., Baumont R., (2012). Les prairies permanentes françaises au cœur d'enjeux agricoles et environnementaux. Innovations Agronomiques, n°25, p85-97.

Pousset J., Beauchamp J-J., Devayer L., Jeulin T., (2005). Entretien de la prairie. Quelques éléments de réflexion. Guide l'herbe, Edition 2005, n°31.

Puydarrieux P., Devaux J., (2013). « Quelle évaluation économique pour les services écosystémiques rendus par les prairies en France métropolitaine ? ». Notes et études socio- économiques du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Paris, p51-86.

Ratier F., (2005). La valeur alimentaire de l'herbe. Un potentiel à préserver. Guide l'herbe, Edition 2005, n°46.

Rossi A., Pottier E., Defrance P., Devun J., Granger S., (2014). Gestion extensive des surfaces fourragères : menaces et risques de disparition des pratiques bénéfiques pour l'environnement. Centre d'études et de prospective, Service de la statistique et de la prospective, n°38, p121-147.

Silva-Pando F-J., Gonzalez-Hernandez M-P., Rozados-Lorenzo M-J., (2002). Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. Agroforestry Systems, n°56, p203-211.

Simon J-C., Decau M-L., Jacquet A., (2005). Fonctionnement des couverts prairiaux : des effets morphologiques majeurs liés à la coupe. Guide l'herbe, Edition 2005, n°8.

Snaydon R-W., (1981). Chapter 2, The ecology of grazed pasture. In World animal science, B Disciplinary approach, Grazing animals. Edition : Elsevier, p13-30.

Theau J-P., Cruz P., Fallour D., Jouany C., Lecloux E., Duru M., (2010). Une méthode simplifiée de relevé botanique pour une caractérisation agronomique des prairies permanentes. Fourrages, n°201, p19-25.

Vandermeer J. H., (1989). The Ecology of Intercropping Systems. Cambridge, Royaume-Unis : Cambridge University Press.

Vickery P-J., (1981). Chapter 4, Pasture Growth under grazing. In World animal science, B Disciplinary approach, Grazing animals. Edition : Elsevier, p55-72.

Violle C., Navas M.-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. & Garnier E., (2007). Let the concept of trait be functional! Oikos, n°116, p882-892.

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Implantation régionale de l'Institut de l'Elevage	9
Figure 2: Organigramme du projet PARASOL (Source : AGROOF, 2016a).....	11
Figure 3: Organigramme du projet ARBELE (Source : AGROOF, 2016b)	12
Figure 4: Les différents volets du projet AgForward et leurs relations (Source : AGROOF, 2016c)	13
Figure 5: Evolution annuelle de la production journalière au cours de l'année prédite par le projet CLIMATOR – Exemple de la fétuque. (Source : Durand et al., 2010).....	16
Figure 6: Ecart à la référence 1976-2005 du nombre de jours de chaleur aux horizons 2021-2050 et 2071-2100 entre différents scénarios envisagés (Source : MEDDE in Météo France, 2016).....	16
Figure 7: Indicateur du rendement des prairies permanentes au 20 mai 2011 (Source : Agreste-ISOP-Météo France-INRA in Désarménien et al., 2013).....	17
Figure 8: La prairie et l'écosystème prairial (Source : Plantureux et al., 2012)	23
Figure 9: Evolution de la pousse de l'herbe au cours de son cycle de développement (Source : Pierre et al., 2012)	23
Figure 10: Croissance de l'herbe au cours de l'année (Source : Institut National Agronomique, 2003)	24
Figure 11: Evolution de la digestibilité (à gauche) et de la valeur azotée (à droite) de différentes espèces au cours du temps (exprimé en somme de degrés-jours) (Source : Carrère et al., 2010).....	25
Figure 12: Pourcentage de radiation solaire interceptée par les arbres selon leurs âges et densité (Source : Montero et Moreno, 2004).	30
Figure 13: L'arbre et l'eau (Source : Fondation Goodplanet, 2014)	31
Figure 14: Effet de l'arbre sur les températures maximales et minimales de l'air (Source : Etienne et Hubert, 1987)	32
Figure 15: Modifications des propriétés du sol par les arbres (Source : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt dans Cheveau, 2016)	33
Figure 16: Production annuelle de la prairie en fonction de la transmission lumineuse en système sylvopastoral espagnol (Galice). (Source : Silva-Pando et al., 2002)	34
Figure 17: Localisation des sites de l'étude	39
Figure 18: Contextes climatiques des régions ISOP à partir des données Météo France (Bilans hydriques P-ETP, Températures moyennes Tmoy, Maximales Tmax et Minimales Tmin).....	40
Figure 19: Emplacement des zones de mesures sur les parcelles agroforestières	44
Figure 20: Biomasse coupée au champ en fonction de la hauteur d'herbe mesurée	46
Figure 21: Rendements des zones de mesures en S7 et S11.....	50
Figure 22: Hauteurs d'herbe pour les zones de mesure en S9.....	50
Figure 23: Rendement des zones de mesure en fonction de leur orientation par rapport à l'arbre en S9	51
Figure 24: Rendement des zones de mesure en fonction de leur distance par rapport à l'arbre en S11.....	51
Figure 25: Hauteur d'herbe des zones de mesure en fonction de leur orientation par rapport à l'arbre en S9	52
Figure 26: Hauteur d'herbe des zones de mesure en fonction leur distance par rapport à l'arbre en S9 et S11 ...	52
Figure 27: Rendements pour les zones de mesure en S11	52
Figure 28: Rendement des zones de mesure en fonction de leur distance par rapport à l'arbre en S9 et S11	53
Figure 29: Analyse Factorielle des Correspondances pour la représentation des espèces dominantes rencontrées par rapport aux zones de mesures (les 6 espèces majeures sont encadrées).....	55
Figure 30: Dominance des principales espèces en fonction des zones de mesure (moyenne sur les 6 sites).....	56
Figure 31: Proportions de graminées en fonction des zones de mesure pour S9, S10, S11 et S12	57
Figure 32: Proportions de légumineuses en fonction des zones de mesure pour S9, S10 et S12	57
Figure 33: Proportions de diverses en fonction des zones de mesure pour S9, S10 et S11	57
Figure 34: Types fonctionnels de graminées A et b en fonction des zones de mesure pour S8	58
Figure 35: Types fonctionnels de graminées A et b en fonction de la distance des zones de mesure par rapport à l'arbre en S9	59
Figure 36: Proportion de stade phénologique épiaison floraison en fonction des zones de mesures pour le site S9	60
Figure 37: Proportions des stades de développement des graminées en fonction de l'orientation des zones de mesure par rapport à l'arbre pour les sites S7 et S9.....	61
Figure 38: Proportions des stades de développement des graminées en fonction de la distance des zones de mesure par rapport à l'arbre pour les sites S7 et S11.....	61

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les grands types de prairies. (Source : d'après Huyghe et al., 2005 in Puydarrieux et Devaux, 2013)	14
Tableau 2: Pratiques agroforestières d'Europe	20
Tableau 3: Stratégies agroforestières selon la densité des arbres sur les parcelles	21
Tableau 4: Types fonctionnels (TF) de graminées (Source : Baumont et al., 2011 d'après Cruz et al., 2010)	27
Tableau 5: Effet de l'âge, de la densité et de la plantation des arbres (une espèce à feuillage persistant et une espèce à feuillage caduque) sur la réduction de la production des prairies comparée à des prairies ouvertes (Source : Benavides et al., 2009)	34
Tableau 6: Changement dans la composition botanique relevé sous trois espèces d'arbres en systèmes sylvopastoraux Néo-Zélandais, et comparaison avec des prairies ouvertes (Source : Benavides et al., 2009). ...	37
Tableau 7: Coordonnées GPS des sites de l'étude	40
Tableau 8: Caractéristiques des parcelles agroforestières étudiées	41
Tableau 9: Dates et sommes de températures à partir desquelles les relevés en P1 et P2 ont été effectués	42
Tableau 10: Notes attribuées aux espèces dominantes en fonction de leur stade phénologique (Source : Jeangros et Arnaudruz, 2005)	47
Tableau 11: Effet microclimatique des arbres perçu au printemps (en bleu les Tmax adoucis et en rouge les Tmin en hausse pour plus de 50% de jours comparés répondant aux conditions).....	49
Tableau 12: Proportions moyennes des familles pour chaque site selon les parcelles de l'étude (AF et T).....	56
Tableau 13: Proportions des types fonctionnels de graminées par parcelle (AF et T) pour chaque site	58
Tableau 14: Proportions des stades de développement observés sur chaque parcelle des sites de l'étude.....	60

ANNEXES

Annexe 1 : Faciès de végétation choisis sur les parcelles agroforestières

Annexe 2 : Caractéristiques des arbres de l'étude

Annexe 3 : Différences thermiques et hydrométriques horaires entre capteurs climatiques des sites S9 et S11 au cours d'une journée

Annexe 4 : Rendements moyens obtenus par site en début de printemps

Annexe 5 : Rendements moyens obtenus par site en fin de printemps

Annexe 6 : Proportions des espèces dominantes relevées dans chaque zone de mesures

Annexe 7 : Espèces dominantes relevées pour chaque site

Annexe 8 : Résultats des proportions des familles d'espèces en fonction de l'orientation nord-sud et de la distance a l'arbre (a, b, c)

Annexe 9 : Résultats des proportions des types fonctionnels de graminées en fonction de l'orientation nord-sud et de la distance a l'arbre (a, b, c)

Annexe 10 : Résultats des proportions des stades phénologiques de graminées en fonction de l'orientation nord-sud et de la distance a l'arbre (a, b, c)

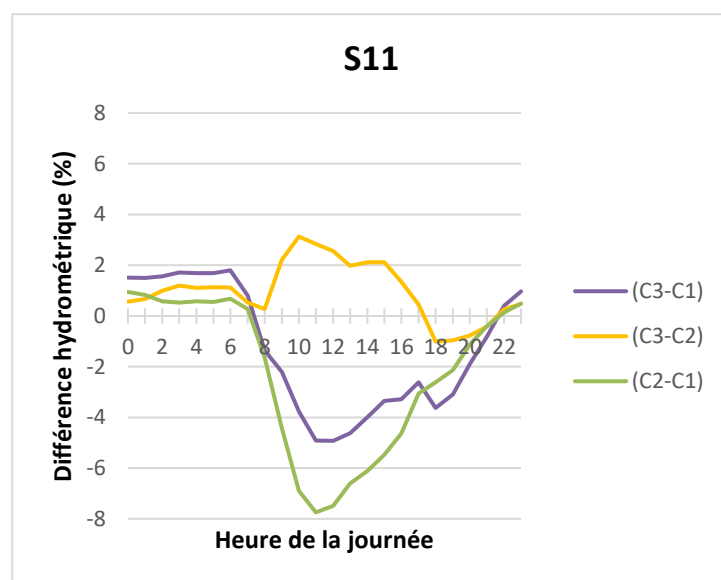
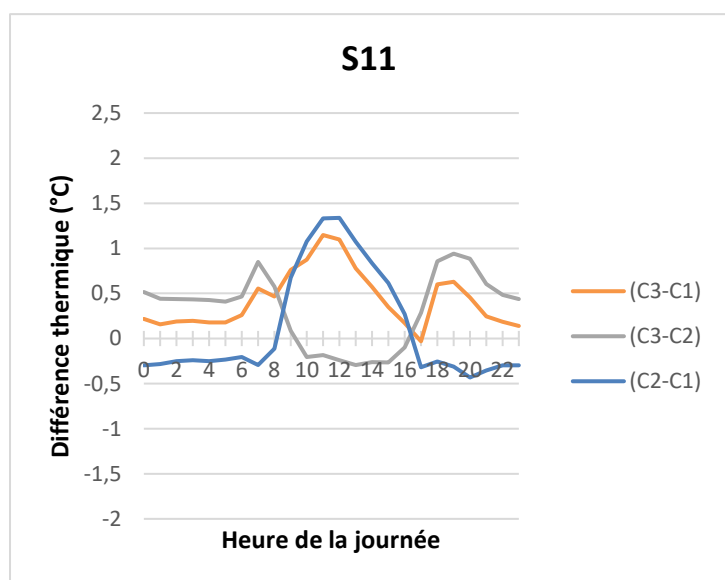
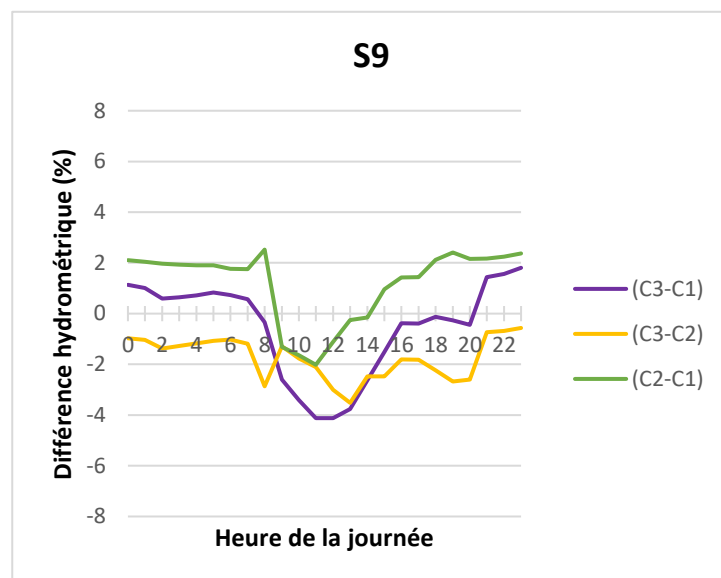
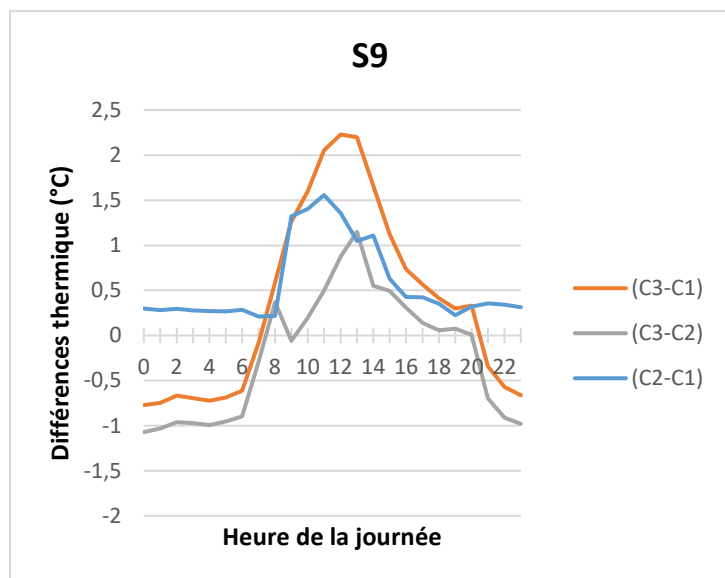
ANNEXE1 : FACIES DE VEGETATION CHOISIS SUR LES PARCELLES AGROFORESTIERES

Site	7	8	9	10	11	12
Couverture parcelle	40%	80%	70%	100%	100%	95%
Couvert herbacé	C. cristatus, T. flavescens, A. capillaris, A. odoratum, H. mollis, H. lanatus, B. hordeaceus, P. trivialis, P. pretense, L. perenne, T. repens, A. millefolium...	H. mollis, H. lanatus, P. trivialis, A. capillaris, L. perenne, C. cristatus...	L. perenne, T. repens, P. pretense, T. officinale, R. repens, P. major...	H. mollis, H. lanatus, A. capillaris, A. odoratum, P. trivialis, P. pretense, L. perenne, D. glomerata...	L. perenne, T. repens, T. officinale, P. major...	H. mollis, H. lanatus, P. trivialis, A. capillaris, L. perenne, C. cristatus, R. repens, T. pratense, T. repens...
Couvert arboré	Pommier 100%	Pommier 100%	Poirier (60%)	Pommier (60%)	Pommier (80%)	Diversifié
Relief	Pente nulle	Pente nulle	Pente nulle	Pente 4% N-S	Pente 2,5% O-E	Pente 12% N-S

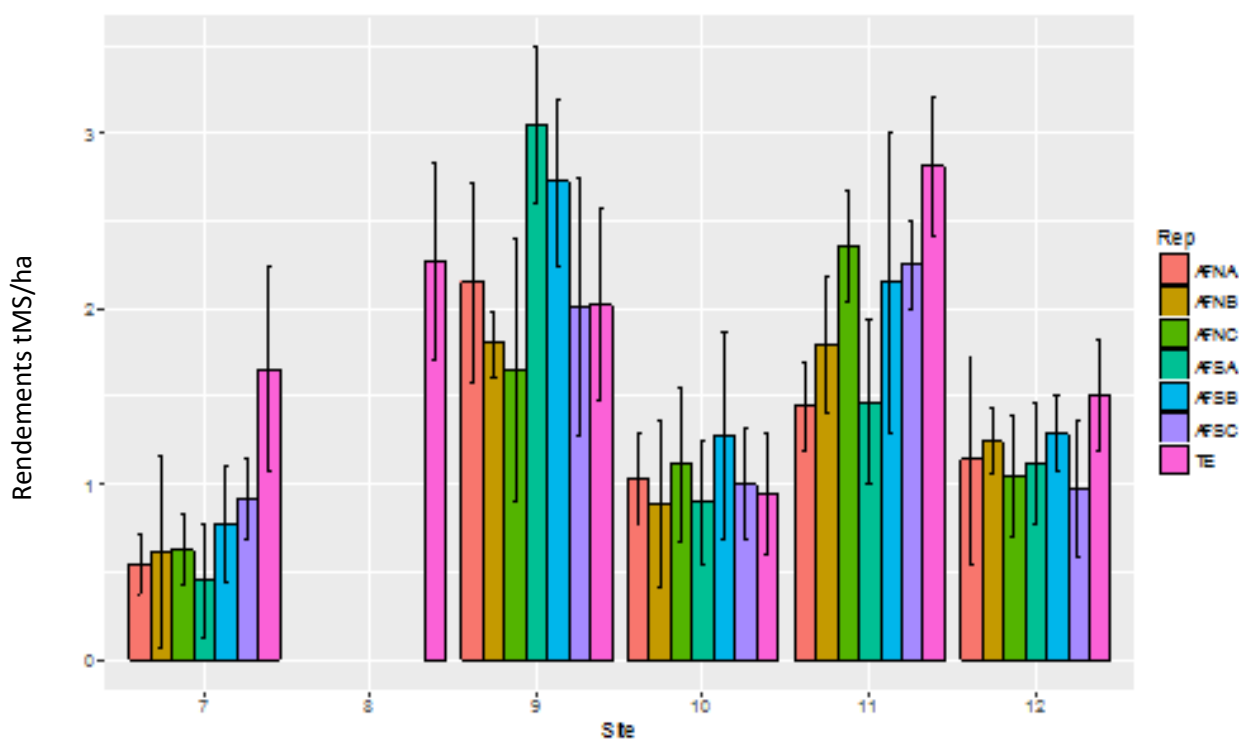
ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES ARBRES DE L'ETUDE

Sites	Arbre (AF)	Essence	Hauteur totale	Hauteur base du houppier	Diamètre houppier
7	AF1	Pommier	4,98m	2,06m	NA
	AF2	Pommier	5,25m	2,07m	3,81m
	AF3	Pommier	5,04m	1,99m	NA
8	AF1	Pommier	5,42m	1,89m	NA
	AF2	Pommier	5,38m	1,88m	NA
	AF3	Pommier	7,70m	1,92m	7,77m
9	AF1	Poirier	10m	3,5m	5,45m
	AF2	Poirier	10m	1,95m	7m
	AF3	Poirier	9m	2,3m	5,55m
10	AF1	Pommier	4,56m	1,61m	5,29m
	AF2	Pommier	4,54m	1,88m	5,05m
	AF3	Pommier	5,15m	1,89m	5,93m
11	AF1	Pommier	8m	1,8m	5,15m
	AF2	Pommier	9m	1,8m	6,7m
	AF3	Pommier	5m	1,8m	7,8m
12	AF1	Pommier	8m	5,9m	5,80m
	AF2	Pommier	8m	5,7m	5,80m
	AF3	Pommier	8m	5,7m	5,80m

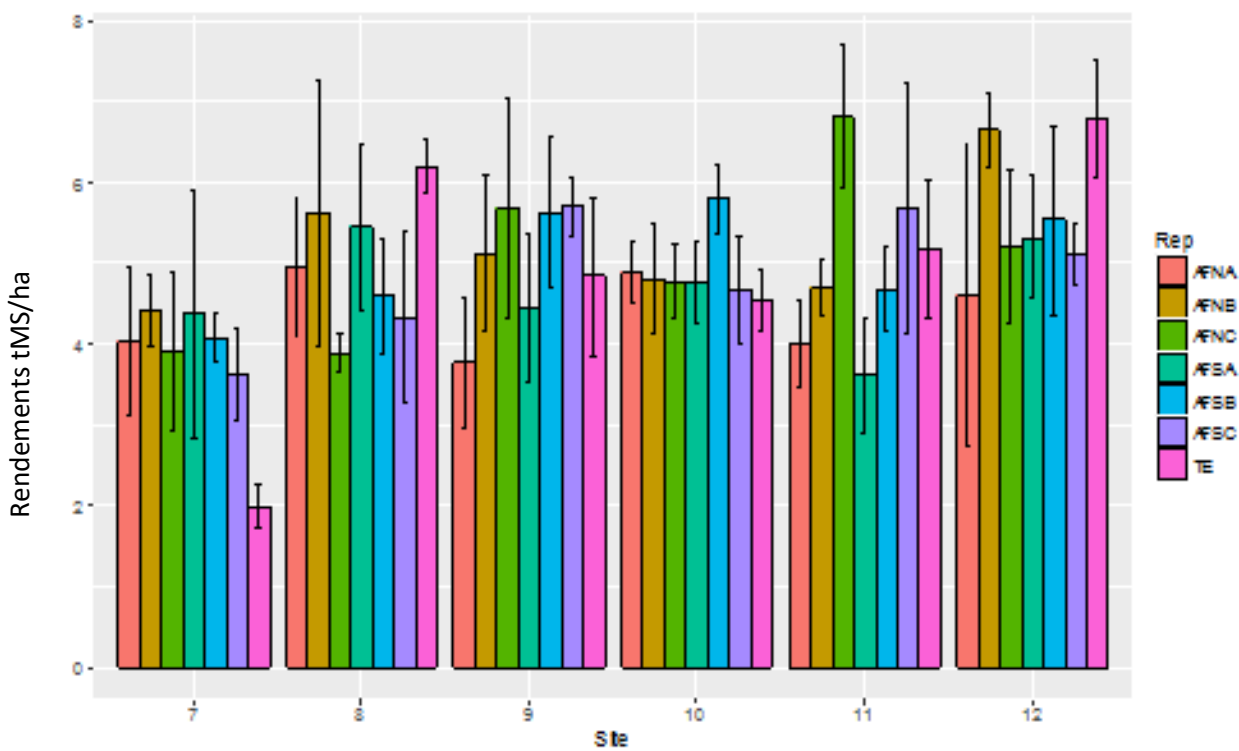
ANNEXE 3 : DIFFERENCES THERMIQUES ET HYDROMETRIQUES HORAIRES ENTRE CAPTEURS CLIMATIQUES DES SITES S9 ET S11 AU COURS D'UNE JOURNEE



ANNEXE 4 : RENDEMENTS MOYENS OBTENUS PAR SITE EN DEBUT DE PRINTEMPS



ANNEXE 5 : RENDEMENTS MOYENS OBTENUS PAR SITE EN DEBUT DE PRINTEMPS



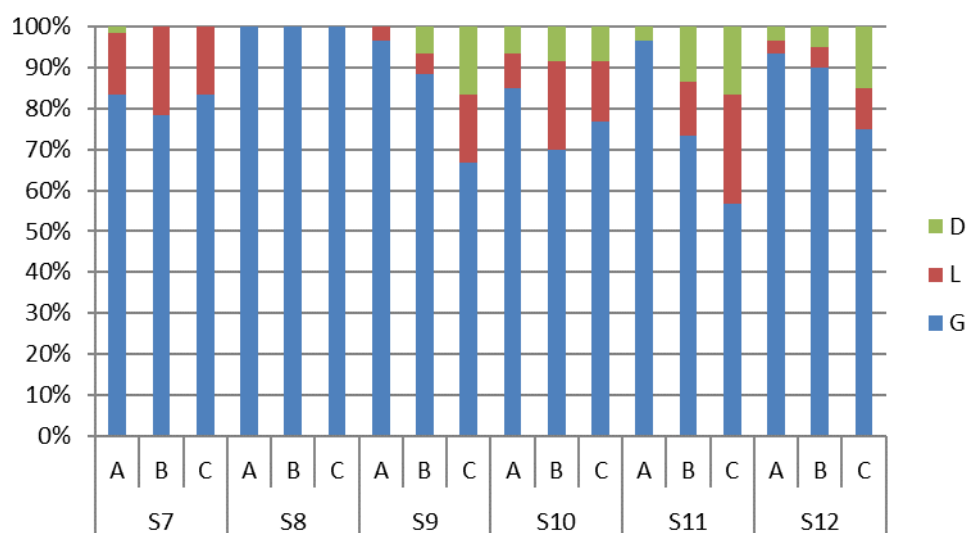
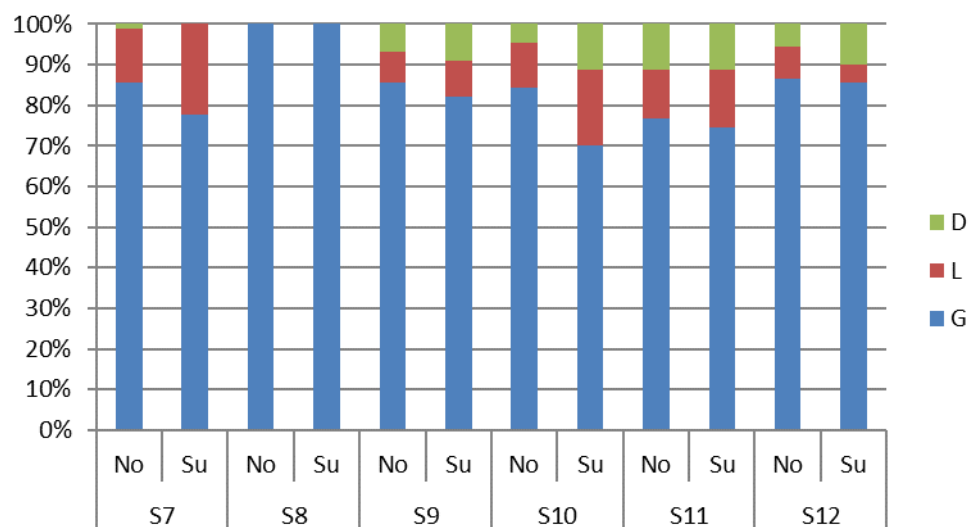
ANNEXE 6 : PROPORTIONS DES ESPECES DOMINANTES RELEVÉES DANS CHAQUE ZONE DE MESURES

	AFNA	AFNB	AFNC	AFSA	AFSB	AFSC	TE
Lolium perenne	31%	27%	24%	33%	22%	18%	18%
Holcus lanatus	14%	20%	12%	8%	11%	13%	4%
Anthoxanthum odoratum	2%	2%	2%	1%	2%	1%	6%
Holcus mollis	8%	7%	6%	8%	7%	8%	3%
Agrostis capillaris	14%	13%	11%	14%	15%	11%	23%
Phleum pratense	2%	3%	3%	8%	5%	3%	1%
Cynosorus cristatus	4%	4%	7%	3%	2%	6%	2%
Bromus mollis	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Trifolium repens	2%	8%	15%	7%	12%	15%	15%
Achillea millefolium	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Trisetum flavescens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dactylis glomerata	5%	3%	1%	3%	2%	4%	1%
Vulpia myuros	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Alopecurus pratensis	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%
Poa trivialis	9%	3%	6%	3%	8%	12%	6%
Taraxacum officinale	0%	2%	2%	1%	3%	2%	2%
Ranunculus repens	1%	2%	3%	1%	1%	3%	3%
Plantago major	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%
Arrhenantherum elatius	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Trifolium pratense	0%	0%	0%	1%	0%	0%	3%
Rumex crispus	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bromus hordeaceus	0%	0%	0%	3%	2%	0%	0%
Trifolium hybridum	0%	1%	1%	1%	2%	0%	3%
Vicia sativa	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Ranunculus bulbosus	0%	1%	2%	0%	0%	1%	3%
Geranium robertianum	0%	0%	0%	1%	2%	0%	2%
Cerastium fontanum	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%
Medicago lupulina	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Alopecurus pratensis	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Alopecurus geniculatus	2%	2%	0%	2%	0%	0%	0%
Agrostis stolonifera	0%	0%	0%	1%	2%	1%	2%
Cirsium vulgare	0%	0%	1%	0%	1%	1%	1%

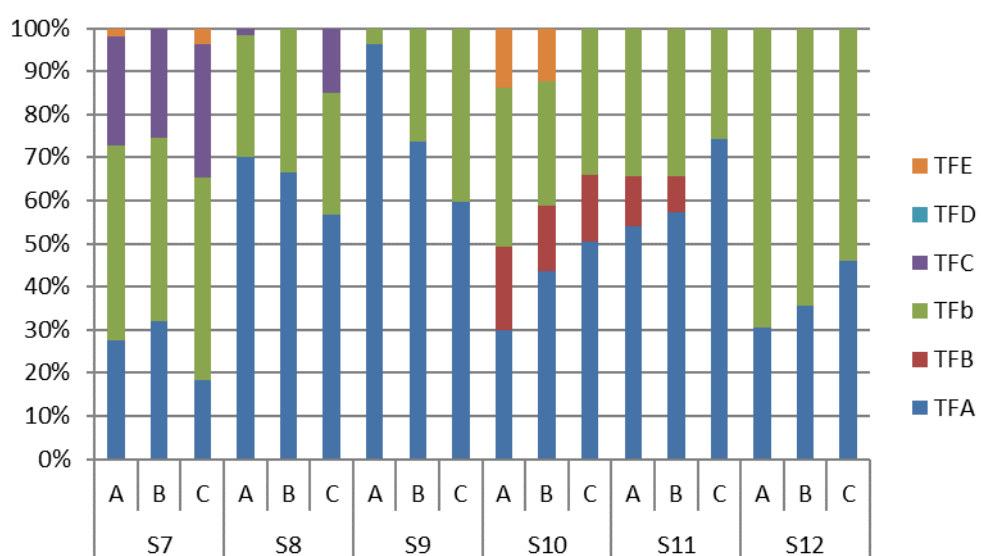
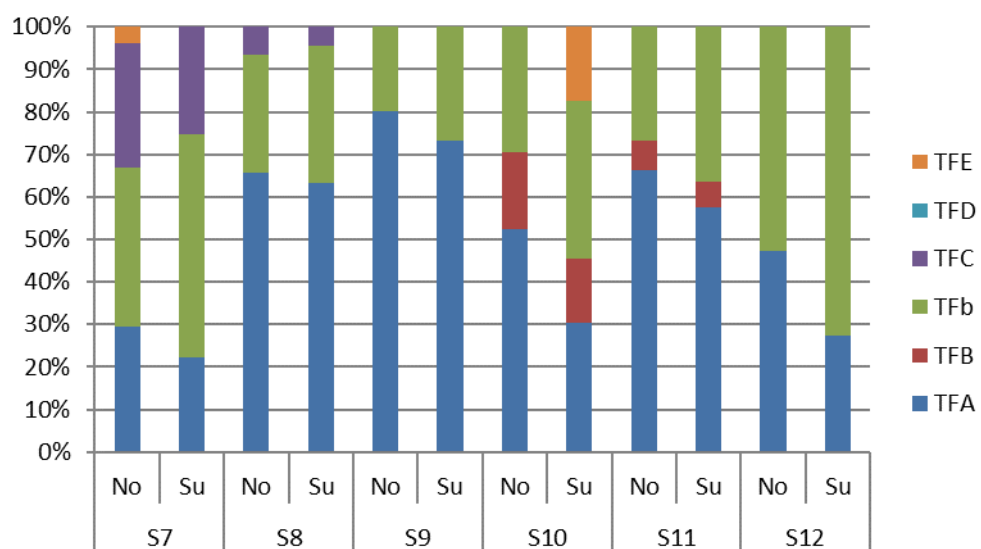
ANNEXE 7 : ESPECES DOMINANTES RELEVÉES POUR CHAQUE SITE

	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Graminées	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais <i>Lolium perenne</i>
	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>	Vulpin des prés <i>Alopecurus pratensis</i>	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>
	Flouve odorante <i>Anthoxanthum odoratum</i>	Houlque molle <i>Holcus mollis</i>	Flouve odorante <i>Anthoxanthum odoratum</i>	Flouve odorante <i>Anthoxanthum odoratum</i>	Houlque laineuse <i>Holcus lanatus</i>	Vulpin genouillé <i>Alopecurus geniculatus</i>
	Houlque molle <i>Holcus mollis</i>	Agrostis commun <i>Agrostis capillaris</i>	Agrostis commun <i>Agrostis capillaris</i>	Dactyle aggloméré <i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle aggloméré <i>Dactylis glomerata</i>	Agrostis commun <i>Agrostis capillaris</i>
	Agrostis commun <i>Agrostis capillaris</i>	Crételle des prés <i>Cynosurus cristatus</i>	Fromental <i>Arrhenatherum elatius</i>	Pâturin commun <i>Poa trivialis</i>	Fromental <i>Arrhenatherum elatius</i>	Houlque molle <i>Holcus mollis</i>
	Phléole des prés <i>Phleum pratense</i>	Vulpie queue-de-rat <i>Vulpia myuros</i>	Pâturin commun <i>Poa trivialis</i>	Agrostis commun <i>Agrostis capillaris</i>	Pâturin commun <i>Poa trivialis</i>	Phléole des prés <i>Phleum pratense</i>
	Crételle des prés <i>Cynosurus cristatus</i>	Vulpin des prés <i>Alopecurus pratensis</i>	Phléole des prés <i>Phleum pratense</i>	Phléole des prés <i>Phleum pratense</i>	Phléole des prés <i>Phleum pratense</i>	Agrostide stolonifère <i>Agrostis stolonifera</i>
	Brome mou <i>Bromus hordeaceus</i>	Pâturin commun <i>Poa trivialis</i>		Brome mou <i>Bromus hordeaceus</i>		Dactyle aggloméré <i>Dactylis glomerata</i>
	Avoine dorée <i>Trisetum flavescens</i>			Fromental <i>Arrhenatherum elatius</i>		
	Dactyle aggloméré <i>Dactylis glomerata</i>					
Légumineuses	Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>		Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>	Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>	Trèfle des prés <i>Trifolium pratense</i>	Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>
			Trèfle des prés <i>Trifolium pratense</i>	Trèfle hybride <i>Trifolium hybridum</i>	Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>	Trèfle des prés <i>Trifolium pratense</i>
				Vesce commune <i>Vicia sativa</i>		
				Luzerne lupuline <i>Medicago lupulina</i>		
Diverses	Achillée millefeuille <i>Achillea millefolium</i>		Pissenlit <i>Taraxacum officinale</i>	Renoncule bulbeux <i>Ranunculus bulbosus</i>	Renoncule bulbeux <i>Ranunculus bulbosus</i>	Renoncule rampante <i>Ranunculus repens</i>
			Renoncule rampante <i>Ranunculus repens</i>	Géranium Herbe à Robert <i>Geranium robertianum</i>	Grand plantain <i>Plantago major</i>	Cirse commun <i>Cirsium vulgare</i>
			Grand plantain <i>Plantago major</i>	Céraiste commun <i>Cerastium fontanum</i>	Renoncule rampante <i>Ranunculus repens</i>	Pissenlit <i>Taraxacum officinale</i>
			Oseille crêpe <i>Rumex crispus</i>		Pissenlit <i>Taraxacum officinale</i>	

ANNEXE 8 : RESULTATS DES PROPORTIONS DES FAMILLES D'ESPECES EN FONCTION DE L'ORIENTATION NORD-SUD ET DE LA DISTANCE A L'ARBRE (A, B, C)



ANNEXE 9 : RESULTATS DES PROPORTIONS DES TYPES FONCTIONNELS DE GRAMINEES EN FONCTION DE L'ORIENTATION NORD-SUD ET DE LA DISTANCE A L'ARBRE (A, B, C)



ANNEXE 10 : RESULTATS DES PROPORTIONS DES STADES PHENOLOGIQUES DE GRAMINEES EN FONCTION DE L'ORIENTATION NORD-SUD ET DE LA DISTANCE A L'ARBRE (A, B, C)

